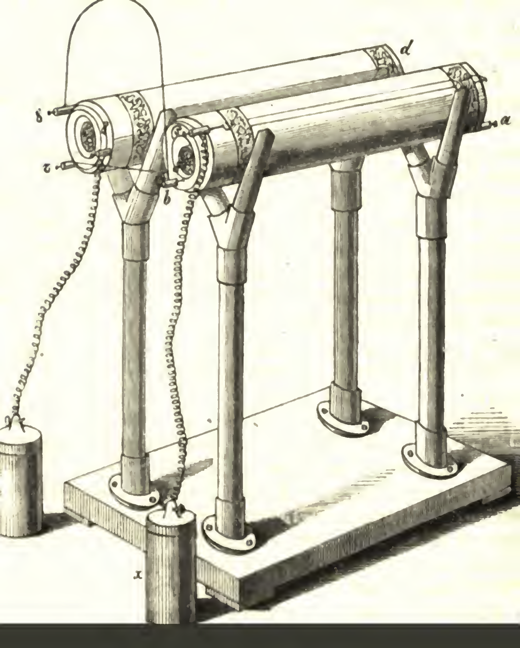


Physikalisches Lexikon

Gotthard Oswald Marbach, Carl Sebastian Cornelius



Physikalisches Lexikon.

Encyklopädie

der

Physik und ihrer Hilfswissenschaften: der Technologie, Chemie, Meteorologie, Geographie, Geologie, Astronomie, Physiologie rc. nach dem Grade ihrer Verwandtschaft mit der Physik.

Zweite,

in Verbindung mit mehren Gelehrten unter Benutzung der neusten Schriften des In- und Auslandes neu bearbeitete, mit Angabe der Literatur und der Quellen bereicherte, mit mehren Tausend in den Text gedruckten Abbildungen von Apparaten, Instrumenten und Maschinen ausgestattete und zahlreiche Tabellen enthaltende Auflage.

Begonnen von

Prof. Dr. Oswald Marbach.

Fortgesetzt von

Dr. C. S. Cornelius,

Docent an der Universität Halle.

Vierter Band.

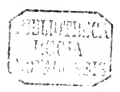
J—M.

Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1856.





Jahr (annus; an, année; year) heißt im Allgemeinen die Zeit, binnen welcher die Erde ihre Bahn um die Sonne zurücklegt, oder die Sonne wieder zu derselben Stellung am Himmel zurückkehrt.

Da die Erscheinungen der Jahreszeiten, der längsten und kürzesten Tage, des Auf- und Untergehens der Gestirne an demselben Orte von der Bewegung der Erde um die Sonne abhängig sind, so mußte man schon sehr früh auf die Zeiteintheilung nach Jahren verfallen. Man mußte bemerken, daß z. B. ein Stern, welcher an einem gewissen Tage gleich nach Sonnenuntergang am östlichen Himmel erschien, nach jedesmal 365 Tagen ebendaselbst wieder zu sehen war. Der so hell glänzende Sirius scheint in dieser Beziehung zuerst die Aufmerksamkeit auf sich gezogen zu haben. Eben so mußte man bemerken, daß 365 Tage von einem kürzesten Tage bis zum nächsten vergingen, desgleichen von einem längsten Tage bis zu dem nächsten, von der Frühlings-Tag- und Nachtgleiche oder der Herbst-Tag- und Nachtgleiche bis zu der entsprechenden nächsten. Den Zeitraum zwischen zwei auf einander folgenden längsten oder kürzesten Tagen fand man, wenn man die Tage beobachtete, an welchen der Schatten eines Gnomons (s. Art. Meridian) um Mittag, also bei dem höchsten Tagesstande der Sonne, am kürzesten oder am längsten war. Die Tage der Tag- und Nachtgleichen konnte man mit einem in der Ebene des Aequators aufgestellten großen Ringe ermitteln, indem man beobachtete, wann der Schatten der vorderen Hälfte genau auf die hintere Hälfte fiel. Den alten Aegyptern war es auch bekannt, daß zu Syene in Ober-Aegypten (unter dem Wendekreise des Krebses) die Sonne nur einmal während eines Jahres am Mittag ihr Bild in dem Wasser eines Brunnen spiegele, während noch weiter südlich diese Erscheinung zweimal jährlich eintrat und zwar an Tagen, welche um so weiter aus einander lagen, je näher der Brunnen dem Aequator war, und bei nördlicher gelegenen Brunnen ein Gleiches nie beobachtet wurde. Es war also nur nöthig von dem Tage, an welchem zu Syene die eben erwähnte Erscheinung stattfand, bis zu dem nächsten zu zählen, an welchem sie wieder eintrat, um die Länge des Jahres nach Tagen kennen zu lernen.

Die Erde braucht, um ihre Bahn von ungefähr 131 Millionen Meilen zu durchlaufen, nach den zuverlässigsten Beobachtungen und Berechnungen der neueren Astronomen 365 mittlere Sonnentage 5 Stunden 48 Minuten und

17,81 Secunden = 365,24222 mittlere Tage *). Dieser Zeitraum heißt ein tropisches Sonnenjahr, und ist die Zeit, welche zwischen 2 Frühlingsnachtgleichen, zwischen 2 Herbstnachtgleichen, zwischen 2 längsten Tagen und zwischen 2 kürzesten Tagen vergeht. Es ist dieses Jahr am wichtigsten für die menschlichen Verhältnisse, weil sich durch dasselbe die Jahreszeiten und die mit diesen in nothwendiger Beziehung stehenden bürgerlichen Geschäfte am leichtesten reguliren lassen.

Von dem tropischen Sonnenjahre ist zu unterscheiden das siderische Sonnenjahr oder der Zeitraum, wo von der Sonne aus gesehen die Erde bei dem nämlichen Fixsterne erscheint. Für die Erdbewohner kehrt nach Verlauf eines siderischen Sonnenjahres die Sonne zu derselben Stellung gegen die Sterne zurück. Der Unterschied zwischen dem tropischen und siderischen Sonnenjahre ist bedingt durch das Fortrücken des Nachtgleichenpunktes unter den Sternen (s. Artikel Nachtgleichen), indem die Fixsterne ihre Länge jährlich um 50,1 Raumsecunden vermehren, d. h. der Sonne um so viel entgegen rücken. Im siderischen Jahre durchläuft die Sonne gerade 360° am Himmel, die hierzu erforderliche Zeit ist aber größer, als die, welche zwischen zwei Durchgängen der Sonne durch die Frühlingsnachtgleiche verfließt. Die Sonne muß noch die eben angegebenen 50",1 mehr als im tropischen Jahre durchlaufen, um wieder dieselbe Stellung zu den Fixsternen zu erhalten, d. h. das siderische Jahr ist um so viel länger als das tropische Jahr, als die Zeit beträgt, in welcher die Sonne um 50",1 sich fortbewegt. Es beträgt folglich das siderische Sonnenjahr 365 mittlere Sonnentage 6 Stunden 9 Minuten und 10,75 Secunden = 365,25637 mittlere Tage.

Die Bahn der Erde ist eine Ellipse **), welche nicht genau dieselbe Lage im Weltraume behält, sondern deren große Axe, Apsidenlinie, ihre Lage gegen die Sterne jährlich um 11,8 Raumsecunden verändert. Diejenige Zeit nun, welche die Erde braucht, um zu derselben Stelle ihrer elliptischen Bahn zurückzukehren, oder dieselbe Anomalie (s. Art. Anomalie) wieder zu erreichen, heißt das anomalistische Jahr und ist um 5 Minuten 12 Secunden größer, als das siderische, also = 365 mittleren Sonnentagen 6 Stunden 14 Minuten und 22,75 Secunden.

Im bürgerlichen Leben ist, wie bereits oben angegeben wurde, das tropische Sonnenjahr das wichtigste, und nach demselben ist auch mit wenigen Ausnahmen seit den ältesten Zeiten allgemein gerechnet worden. Wir haben gesehen, daß bei der Bestimmung der Länge dieses Jahres nach Tagen nichts anderes geschieht, als daß angegeben wird, wie viel Mal die Sonne ihren scheinbaren Lauf um die Erde zu machen hat, ehe die Erde einmal ihre Bahn um die Sonne zurücklege, d. h. den Weg von einer Tag- und Nachtgleiche bis zu derselben des nächsten Jahres vollende. Da das Jahr jedoch etwas länger als 365 Tage ist, so ergiebt sich

*) Bessel in Schumacher's Astron. Nachr. Nr. 135. Andere Angaben sind folgende:

Lalande	= 365 Tage	5^h 48′ 48″
v. Zach	= 365 „	5^h 48′ 50,875″
Piazzi	= 365 „	5^h 48′ 50,27″
Delambre u. Carlini	= 365 „	5^h 48′ 51,3936″
Littrow	= 365 „	5^h 48′ 50,832″.

**) Vergl. Art. Erde. Bd. II. S. 906.

hieraus, daß die Bahn um die Sonne von der Erde mit dem 365. scheinbaren Umlaufe der Sonne um die Erde noch nicht zurückgelegt ist. Nimmt man daher das Jahr nur zu 365 Tagen an, so beträgt die Zeit von 5 Stunden 48 Minuten und 47,81 Secunden, diese gleich 6 Stunden gesetzt, in 4 Jahren schon einen ganzen Tag. Wenn man also, ohne hierauf Rücksicht zu nehmen, das Jahr immer nur zu 365 Tagen rechnet, so würden die Jahreszeiten, die längsten und kürzesten Tage ꝛc. allmälig den ganzen Kalender durchlaufen; es würde z. B. der längste Tag, welcher im gegenwärtigen Jahre auf den 21. Juni fiel, nach 4 Jahren auf den 22., nach 100 Jahren auf den 16. Juli und nach 400 Jahren sogar auf den 30. September fallen. Um daher den Fehler, welcher bei der Annahme des bürgerlichen Jahres zu 365 Tagen stattfindet, zu verbessern, muß jedes 4. Jahr um einen Tag länger, also zu 366 Tagen angenommen werden. Man sagt, es werde in die gewöhnlichen 365 Tage 1 Tag eingeschaltet, und zwar geschieht diese Einschaltung nach dem 23. Februar, so daß in einem Schaltjahre der Tag Matthias, welcher in einem gemeinen Jahre der 24. Februar ist, der 25. wird, und der ganze Monat Februar nicht 28, sondern 29 Tage hat. Diejenigen Personen, welche in einem Schaltjahre an einem der 5 letzten Tage des Februar geboren sind, haben also ihren Geburtstag in den gemeinen Jahren um einen Tag früher zu feiern, und der am 24. Februar eines Schaltjahres Geborne hat den Schalttag zum Geburtstage, nicht der, welcher am 29. Erdenbürger geworden ist.

Diese Einschaltung nach dem 23. Februar hat ihren Grund darin, daß vor der Kalenderverbesserung durch Julius Cäsar bei den Römern Schaltjahre im Gebrauche waren, in denen der Februar zu 23 Tagen gerechnet wurde, worauf dann ein ganzer Schaltmonat folgte. Dieser Gebrauch, nach dem 23. Februar einzuschalten, erschien bei Einführung der Neuerung zweckmäßig, um dieser selbst leichter Eingang zu verschaffen.

Ob ein Jahr ein Schaltjahr sei, findet man, wenn man die Jahreszahl selbst durch 4 dividirt; geht die 4 ohne Rest in derselben auf, so ist das Jahr ein Schaltjahr, wo nicht, ein gemeines Jahr.

Durch die vor Julius Cäsar bestehende mangelhafte Zeitrechnung war um das Jahr 50 v. Chr. eine solche Verwirrung eingerissen, daß der Frühlingsanfang, welcher in den März fallen sollte, erst in dem Mai eintrat. Mit Hülfe des Alexandrinischen Astronomen Sosigenes ließ daher Julius Cäsar im Jahre 708 nach Erbauung der Stadt Rom (46 v. Chr.) die fehlenden 72 Tage, um den Anfang des Januar auf das Wintersolstitium (den kürzesten Tag) zu bringen, einschalten, verlegte aber den Jahresanfang noch um weitere 8 Tage hinaus, weil damals gerade auf den 8. Tag nach dem kürzesten Tage ein Neumond eintrat, worauf die Römer ein großes Gewicht legten. Mit dem Januar 709 (45 v. Chr.) begann die neue Zeitrechnung, und das vorhergehende Jahr hatte auf diese Weise $365 + 72 + 8 = 445$ Tage erhalten, weshalb es das Jahr der Verwirrung (annus confusionis) genannt worden ist.

Seit Beginn der Julianischen Zeitrechnung wurde alle 4 Jahre ein Tag nach dem 23. Februar eingeschaltet, wie bereits bemerkt worden ist. Die Monate hatten diejenige Anzahl von Tagen, welche sie noch jetzt haben, und hießen: **Januarius, Februarius, Martius, Aprilis, Majus, Junius, Quinctilis, Sextilis, September, October, November, December.** Zum Andenken an Julius Cäsar

wurde unter Cäsar Augustus der Quinctilis Julius genannt, und zum Andenken an Cäsar Augustus der Sextilis Augustus, weil in diesem Monate Augustus zum ersten Male Consul geworden war, und glänzende Siege erfochten hatte.

Bei der Julianischen Zeitrechnung ist in Bezug auf die Einschaltung vorausgesetzt, daß das tropische Sonnenjahr eine Länge von 365 Tagen 6 Stunden habe. Da dies Julianische Jahr aber um ungefähr 11 Minuten 12 Secunden die wahre Dauer dieses Jahres übertrifft, so folgt hieraus, daß bei fortwährender Einschaltung eines Tages in je 4 Jahren 100 Julianische Jahre um 19 Stunden und 400 Julianische Jahre um mehr als 3 Tage zu lang werden. In 129 Jahren war die Differenz fast auf einen Tag angewachsen.

Zur Zeit des Papstes Gregor XIII. betrug auf diese Weise, da man ohne Unterbrechung aller 4 Jahre einen Tag eingeschaltet hatte, die Abweichung der Julianischen Zeitrechnung von der wahren Zeit 13 Tage, indem die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche nicht mehr auf den 24. März, sondern auf den 11. März fiel. Im J. 1577 unterrichtete nun Papst Gregor XIII. alle christlichen Monarchen, daß er die Jahresrechnung berichtigen wolle, und nach Berathung mit ausgezeichneten Astronomen, namentlich mit Aloysius Lilius, verordnete er, daß durch die ganze christliche Kirche im J. 1582 der October statt 31 nur 21 Tage haben sollte. Man ging nämlich vom 4. October sogleich auf den 15. über, und brachte dadurch die Frühlingsnachtgleiche im Jahre 1583 auf den 21. März, wo sie zur Zeit des Conciliums von Nicäa sich befunden hatte. Gregor verordnete zugleich, daß von nun an, bei fortwährender vierjähriger Einschaltung von einem Tage, in je 400 Jahren 3 Schalttage weggelassen werden sollten, und zwar so, daß die nächsten 3 Säcularjahre, nämlich 1700, 1800 und 1900, nicht Schaltjahre, sondern gemeine Jahre sein sollten, wohl aber das Jahr 2000 und so fort. Kann man die Anzahl der Jahrhunderte durch 4 ohne Rest theilen, so ist das Säcularjahr ein Schaltjahr, wo nicht, ein gemeines.

Dieser neue Gregorianische Kalender ist von den meisten christlichen Völkern nach und nach angenommen worden. Nur die griechische Kirche, also namentlich die Russen, haben den alten Julianischen Kalender beibehalten. Man unterscheidet daher Zeitangaben nach neuem Stile (nach dem Gregorianischen Kalender) und Zeitangaben nach altem Stile (nach dem Julianischen Kalender). Der erste Januar 1583 alten Stils fiel bereits auf den 11. Januar 1583 neuen Stils. Da das Jahr 1700 nach dem alten Stile ein Schaltjahr war, aber nicht nach dem neuen, so fiel der erste Januar 1701 alten Stils auf den 12. Januar neuen Stils; der Unterschied betrug mithin von dem 24. Februar 1700 an 11 Tage; eben so ist die Abweichung des alten von dem neuen Stile seit dem 24. Februar 1800 auf 12 Tage angewachsen und wird im J. 1900 auf 13 Tage steigen, dann aber erst im J. 2100 wiederum um 1 Tag zunehmen. Die Protestanten haben den neuen Stil in Deutschland, Holland, Dänemark im J. 1700 angenommen unter dem Namen des verbesserten Kalenders, indem sie vom 18. Februar sogleich auf den ersten März übergingen. Die Engländer nahmen diesen Kalender im J. 1752 an, indem sie vom 20. August sogleich zum 1. September fortzählten, und die Schweden im J. 1753, indem sie nach dem 17. Februar sogleich den 1. März stellten.

Die Einschaltung, welche Gregor angeordnet hat, würde mathematisch genau sein, wenn das tropische Sonnenjahr 365 Tage 5 Stunden 49 Minuten

12 Secunden enthielte, also um 24 Secunden länger wäre, als es wirklich ist, oder wenn durch die Julianische Einschaltungsweise 100 Jahre nicht um 19, sondern nur um 18 Stunden zu lang würden. Da mithin zu viel eingeschaltet wird, so würde etwa alle 36 Jahrhunderte abermals ein Schalttag wegzulassen sein, was man näherungsweise dadurch erreichen könnte, wenn man alle 4000 Jahre noch einen Schalttag ausfallen ließe und zwar, um eine Uebereinstimmung mit den übrigen Regeln herbeizuführen, immer in dem Jahre, in welchem die Tausende durch 4 ohne Rest theilbar wären.

Gewöhnlich rechnet man auf das Jahr 52 Wochen; da aber 52 Wochen nur 364 Tage sind, so hat ein gemeines Jahr 1 Tag und ein Schaltjahr 2 Tage mehr, als 52 Wochen. Daher kommt es, daß ein bestimmter Monatstag, z. B. der erste Januar des gegenwärtigen Jahres, wenn dasselbe ein gemeines Jahr ist, im folgenden Jahre auf den nächst folgenden Wochentag fällt, und wenn es ein Schaltjahr ist, auf den zweitfolgenden. (Vergl. Art. Cyclus.)

Noch ist der Mondenjahre Erwähnung zu thun. Der Wechsel der Mondsphasen mußte schon in den frühesten Zeiten auffallen, und es lag nahe die Zeit zunächst nach Neumonden oder nach dem ersten Erscheinen des Mondes nach Neumond zu zählen. Diese Art der Zeitbestimmung liegt im Wesentlichen noch bei den Unterabtheilungen des gebräuchlichen tropischen Sonnenjahres zu Grunde, wenn auch unsere Monate ungleiche Länge haben und noch weit weniger mit dem Mondumlaufe übereinstimmen. Man konnte indessen bei der Zeitbestimmung nach Neumonden nicht stehen bleiben, weil der Mondumlauf kein aliquoter Theil des tropischen Sonnenjahres ist, und wenn man auch bald die Bemerkung gemacht haben mochte, daß nach 12 Mondumläufen (synodischen Monaten, s. d. Art. Monat) die Sonne ziemlich zu denselben Sternen und zu denselben Stellungen gegen den Aequator zurückgekehrt sei, man doch bald eine merkliche Abweichung gegen das Sonnenjahr entdecken mußte. Dadurch wurde man nothwendig auf das für die bürgerlichen Verhältnisse wichtigere Sonnenjahr hingeführt. Indessen blieb man doch zunächst bei der Zeitmessung nach Mondumläufen stehen und suchte nur eine Uebereinstimmung mit dem Sonnenjahre durch Einschaltungen zu Stande zu bringen.

Die Zeit von 12 Mondumläufen nannte man ein Mondenjahr, dessen mittlere Dauer nach genauerer Berechnung 354 Tage 8 Stunden 48 Minuten 36 Secunden ist. Das Mondenjahr weicht folglich ungefähr um 11 Tage von dem Sonnenjahre ab, und daher waren die nothwendigen Einschaltungen sehr bedeutend, wenn man es vermeiden wollte, daß die Jahreszeiten alle 12 Monate des Mondenjahres durchliefen. Bei den meisten Völkern, die nach Mondenjahren gerechnet haben, sind dieselben durch Einschaltungen von ganzen Monaten oder von Tagen mit den Sonnenjahren in Uebereinstimmung gebracht worden. So hatten die Römer, welche vor Cäsar eigentlich nach Mondenjahren rechneten, alle 2 Jahre einen Schaltmonat von 22 oder 23 Tagen, welcher mensis intercalaris hieß, und, wie bereits oben bemerkt wurde, nach dem 23. Februar seine Stelle fand. Auch die Griechen suchten Mondenjahre und Sonnenjahre in Uebereinstimmung zu bringen, indem sie die Reihe von Sonnenjahren aufzufinden suchten, welche eine Reihe ganz vollendeter Mondmonate enthielt. So fanden Meton und Euktemon, daß 19 Sonnenjahre, welche 6940 Tage betragen, sehr genau mit der Zeit von

235 synodischen Mondumläufen zusammenstimmen *). Hiernach mußte es in 19 Jahren 7 Schaltmonate geben. Auch die Juden rechneten nach Mondenjahren und hatten eine sehr künstliche und verwickelte Einschaltungsmethode. Nur die Türken haben ein reines Mondenjahr mit abwechselnd 29 und 30 Tage langen Monaten. Der Neujahrstag der Türken muß mithin alle Jahreszeiten rückwärts durchlaufen.

Ausführliche Schriften über die Zeitrechnung sind:

Ideler, Lehrbuch der Chronologie. Berlin 1831, ein Auszug aus:

Ideler, mathematische und technische Chronologie. Berlin 1825 und 1826.

Littrow, Kalendariographie. Wien 1828.

In Betreff der übrigen Planeten unseres Sonnensystems sei nur noch bemerkt, daß die Jahre eines jeden der siderischen oder tropischen Umlaufszeit desselben um die Sonne gleich sind. H. E.

Jahreszeiten (Quatuor tempora anni; les saisons; the seasons) heißen diejenigen Abwechselungen im Laufe des Jahres, welche sich durch verschiedene Länge des Tages, verschiedene Temperatur und alle die hiermit zusammenhängenden Naturerscheinungen als Eis, Schnee, Regen, Wind, Grünen, Blühen, Fruchttragen und Entlaubung der Gewächse unterscheiden. Die Namen dieser Jahreszeiten sind bekanntlich: Frühling, Sommer, Herbst und Winter.

Ueber die Entstehung der ungleichen Tageslängen und der hiermit zusammenhängenden Erscheinungen von Winter, Frühling, Sommer und Herbst, s. d. Art. Erde, Bd. II. S. 904 u. 905. Nach den astronomischen Bestimmungen beginnt der Frühling, sobald sich die Sonne über den Aequator des Himmels erhebt. Auf der ganzen nördlichen Halbkugel ist folglich Frühlingsanfang in der Zeit des 20. bis 21. März nach dem Gregorianischen Kalender (vergl. Art. Jahr), weil sich zu dieser Zeit die Sonne in dem Durchschnittspunkte der Ekliptik und des Aequators, im Nullpunkte des Widders, oder im Punkte der Frühlingsnachtgleiche (s. Art. Nachtgleichen) befindet, und nach dieser Zeit nordwärts von dem Aequator entfernt. Dieselbe Zeit ist für die südliche Halbkugel der Anfang des Herbstes, weil für diese Erdhälfte dann die Sonne unter dem Aequator ihre Stellung einnimmt. Der Sommer beginnt mit dem längsten Tage, an welchem die Sonne ihre höchste Stellung erlangt, d. h. auf der nördlichen Halbkugel in der Zeit des 21. bis 22. Juni, wenn die Sonne in das Zeichen des Krebses tritt. Nach dieser Zeit nähert sich die Sonne wieder immer mehr dem Aequator, und so dauert der Sommer, bis die Sonne abermals in dem Durchschnittspunkte der Ekliptik und des Aequators steht, also bis zu dem 22. bis 23. September, wo die Sonne in das Zeichen der Wage tritt. Auf der südlichen Halbkugel ist während dieser Zeit Winter. Das Ende des Sommers ist der Anfang des Herbstes. In dieser Jahreszeit entfernt sich die Sonne immer mehr von dem Aequator, so daß sie eine immer tiefere Stellung bekommt. Der Herbst endet mit Wintersanfang, mit dem niedrigsten Stande der Sonne (für die nördliche Halbkugel in dem Zeichen des Steinbocks) oder mit dem kürzesten Tage. Für die nördliche Halbkugel tritt dies ein in der Zeit des 21. bis 22. December. Für die südliche Halbkugel ist diese Zeit des nördlichen Herbstes der Frühling, und

*) S. Art. Cyclus. Bd. I. S. 1016.

eben so die Zeit des nördlichen Winters die des Sommers, worauf mit dem Eintreten der Sonne in das Zeichen des Widders der Cyclus der Jahreszeiten von Neuem beginnt. Es ergiebt sich mithin folgende Zusammenstellung:

Nördliche Halbkugel.			Südliche Halbkugel.
Frühling	20. bis 21. März	—	21. bis 22. Juni Herbst.
Sommer	21. bis 22. Juni	—	22. bis 23. September Winter.
Herbst	22. bis 23. Septbr.	—	21. bis 22. December Frühling.
Winter	21. bis 22. Decbr.	—	20. bis 21. März Sommer.

Daß der Anfang und das Ende der einzelnen Jahreszeiten nicht unveränderlich auf denselben Tag oder Augenblick fällt, hat, wie aus dem Art. Jahr zu ersehen ist, seinen Grund in der Länge des tropischen Jahres und den hierdurch nothwendigen Einschaltungen. Auch machen wir noch darauf aufmerksam, daß der Frühling und Sommer der nördlichen Halbkugel zusammen um ungefähr 7 Tage länger sind als der Herbst und Winter, und daß auf der südlichen Halbkugel das Umgekehrte stattfindet.

Für die Gegenden zwischen den Wendekreisen, namentlich in der Nähe des Aequators, findet, wie dies in der Natur der Sache liegt, indem die Sonne während des ganzen Jahres eine sehr hohe Stellung einnimmt, und kein bedeutender Unterschied in der Länge des Tages und der Nacht eintritt, ein sich äußerlich wie bei uns kundgebender Wechsel der Jahreszeiten nicht statt. Die Unterschiede der Jahreszeiten schwinden überhaupt auch in den gemäßigten Zonen gegen den Aequator zu immer mehr, und nach den Polen zu nehmen die sonst den Winter begleitenden Erscheinungen fast das ganze Jahr ein. Es wechselt Sommer und Winter, aber der letztere dauert weit länger als jener, und die Uebergänge Herbst und Frühling verschwinden fast ganz. So sind die meteorologischen Jahreszeiten, welche namentlich mit der Temperatur zusammenhängen, auf den verschiedenen Punkten der Erde höchst verschieden.

In den gemäßigten Zonen ist Frühling die Zeit des Verschwindens des Schnees und Eises, des Grünwerdens der Bäume und Sträucher ꝛc., im Sommer zur Zeit der größten Wärme reifen die Früchte der Getreidearten und der Bäume, und im Herbste, der Zeit der Weinlese, fallen die fahlwerdenden Blätter von den Bäumen, bis im Winter endlich Schnee und Eis die ganze Natur mehr oder weniger überzieht. Ganz anders verhält es sich aber in den Gegenden um den Aequator. Hier wechselt die Temperatur im Laufe des Jahres nur wenig, die Bäume verlieren nie völlig ihr Laub, sondern das frische tritt schon hervor, ehe das alte abgefallen ist, und Blüthen und Früchte werden gleichzeitig von demselben Baume getragen und sie erscheinen in allen Jahreszeiten. Dort giebt es nur zwei meteorologische Jahreszeiten, die trockne und die Regenzeit, welche letztere gewöhnlich dann eintritt, wenn sich die Sonne im Zenith des Ortes befindet, weil durch den aufsteigenden Luftstrom, welcher an dem Orte am stärksten ist, in dessen Zenith die Sonne steht, eine große Störung im Gleichgewichte der Atmosphäre eintritt. Mit dem Fortrücken der Sonne findet auch eine Verrückung der Regenzeit statt, und an den Orten, durch deren Zenith die Sonne jährlich zweimal geht, treten daher auch zwei nasse Jahreszeiten ein, getrennt durch eine trockene Jahreszeit oder wenigstens charakterisirt durch zwei Maxima in der Menge des fallenden Regens. (Vergl. Art. Regen und Winde.) Daß örtliche Verhältnisse außerdem auf diese Erscheinung

von Einfluß sein und Modificationen herbeiführen können, glauben wir nicht unbemerkt lassen zu dürfen. Am ausführlichsten hat A. v. Humboldt dies Phänomen untersucht. Er erzählt *), daß in den tropischen Gegenden (am Orenoco) nördlich vom Aequator vom December bis Februar der Himmel vollkommen heiter ist und ein fortwährender Ost- oder Ostnordostwind weht. Gegen Anfang des März treten häufig Windstillen ein, die Luft wird feucht, die Sterne beginnen zu funkeln, und im April beginnt die von heftigen Stürmen begleitete Regenzeit, nachdem sich bereits im März am südlichen Himmel elektrische Entladungen gezeigt haben.

Wir können hier auf die Modificationen der einzelnen Jahreszeiten in den verschiedenen Zonen nicht weiter eingehen; die Art. Regen, Winde, Isothermen &c. enthalten vieles darauf Bezügliche, und da der Art. Klima eine Charakteristik der einzelnen Zonen enthält, so bekommt der vorliegende Artikel hierdurch seine Ergänzung. Wir bemerken hier nur noch, daß die Meteorologen sich einer anderen Eintheilung der Jahreszeiten bedienen, als der im bürgerlichen Leben gebräuchlichen.

Die Mittel der meteorologischen Beobachtungen werden meistens nach ganzen Monaten gegeben, die astronomischen Jahreszeiten beginnen aber in der Mitte der Monate. Schon diese Nichtübereinstimmung bedingt eine Abweichung. Naturgemäß ist es jedenfalls bei einer meteorologischen Charakteristik der Jahreszeiten eine Jahreseintheilung zu treffen, durch welche die charakterisirenden Phänomene auch vorzugsweise Beachtung finden. Es sind verschiedene Vorschläge gemacht **), jetzt ist aber allgemein angenommen, die Monate: December, Januar und Februar als Winter; März, April und Mai als Frühling; Juni, Juli und August als Sommer und September, October und November als Herbst in Rechnung zu nehmen. Diese Eintheilung hat den Vorzug, daß der Tag der größten (Sommer), mittleren (Frühling und Herbst) und geringsten (Winter) Wärme sehr nahe in die Mitte einer jeden Jahreszeit fällt. H. E.

Induction, elektrische, nennt man eine besondere Art von Erregung elektrischer Ströme in einem geschlossenen Leiter, in dessen Nähe sich ein anderer von Elektricität durchströmter Leiter befindet. Doch kann eine solche Erregung auch in dem Schließungsbogen einer elektrischen Kette vorkommen, und in ganz ähnlicher Weise wirkt ein Magnet auf einen benachbarten geschlossenen Elektricitätsleiter.

Auf einer Rolle oder Spule von Holz seien zwei mit Seide übersponnene Kupferdrähte A und B in vielen Windungen neben einander aufgewickelt. Werden nun die Enden des einen Drahtes A mit den Polen einer galvanischen Kette, die des anderen B aber mit den Drahtenden eines Multiplicators (Galvanometers) gut verbunden, so zeigt die Ablenkung der Magnetnadel im Drahte B einen Strom an, dessen Richtung der des galvanischen Stromes entgegengesetzt ist. Dieser Strom ist jedoch nicht dauernd, denn bald kehrt die Nadel in ihre Ruhelage zurück. Oeffnet man aber die galvanische Kette, wodurch der anfängliche Strom in A unter-

*) Voyage. T. VI. p. 176. Ann. de Ch. et de Phys. T. VIII. p. 180.
**) Vergl. Kämtz, Meteorologie. Bd. I. S. 129; Lampadius, Atmosphärologie S. 225; Wucherer, die Sommertemperatur zu Karlsruhe. S. 52.

brochen wird, so entsteht in dem Nebendrahte B ein zweiter Strom, welcher die entgegengesetzte Richtung des vorigen oder gleiche Richtung mit dem verschwindenden Hauptstrome in A hat. Nach wenigen Momenten verliert sich auch dieser Strom und die Nadel geht auf den Nullpunkt zurück.

Eine Vermehrung und Verminderung der Stromstärke hat bei fortdauerndem Geschlossensein der Kette auf den Nebendraht B im Wesentlichen dieselbe Wirkung wie das Schließen und Oeffnen der Kette. Befindet sich nämlich in der galvanischen Kette neben dem Drahte A noch ein anderer Draht von beträchtlicher Länge eingeschaltet, so wird die Stromstärke vermehrt werden, wenn man diesen Draht, ohne die Kette zu öffnen, hinwegnimmt. Die momentane Ablenkung der Magnetnadel zeigt dann in dem Drahte B einen Strom an, dessen Richtung der des anfänglichen entgegengesetzt ist. Dagegen wird durch die Verminderung der Stromstärke in dem Drahte B ein elektrischer Strom erregt, der mit dem galvanischen gleiche Richtung hat.

Dieselben Erscheinungen treten zu Tage, wenn man einen von Elektricität durchströmten Leiter einem anderen geschlossenen Leiter nähert oder davon entfernt. Man nehme zwei getrennte Drahtrollen, von denen die eine über die andere geschoben werden kann, und verbinde die Enden der einen Rolle, wie vorher, mit dem Galvanometer, die Enden der anderen mit den Polen einer galvanischen Kette. Sind nun beide Rollen so gegen einander gestellt, daß ihre Axen zusammenfallen, so zeigt die Nadel im Multiplicator, wenn man die eine Rolle der anderen nähert, einen Strom von kurzer Dauer an, der dem galvanischen Strome entgegengesetzt ist. Werden hierauf beide Rollen von einander entfernt, so entsteht in der mit dem Multiplicator verbundenen Rolle ein Strom, der mit dem galvanischen in gleicher Richtung fließt.

Man nennt nun solche Ströme, welche durch die vertheilende Wirkung eines von der Elektricität durchströmten Leiters hervorgebracht werden, inducirte oder auch, weil sie nur kurze Zeit dauern, temporäre oder endlich in Beziehung auf den anfänglichen Hauptstrom, den man den primären oder inducirenden nennt, secundäre Ströme. Dieselben wurden von Faraday *) im Jahre 1831 entdeckt und von ihm inducirte Ströme genannt. Daß der secundäre Strom beim Schließen der Kette die entgegengesetzte und beim Oeffnen derselben die gleiche Richtung mit dem primären hat, wurde von Henry nachgewiesen. Bei Anwendung einer einfachen Kette ist der erstere schwächer als der letztere, gewinnt aber eine diesem gleichkommende Stärke, wenn man die Anzahl der Elemente, aus denen die Kette zusammengesetzt ist, hinlänglich vermehrt.

Bezüglich der Richtung des inducirten Stromes hat Lenz **) folgende allgemein geltende Regel aufgestellt: „Wenn sich ein metallischer Leiter in der Nähe eines galvanischen Stromes bewegt, so entsteht in ihm ein elektrischer Strom, der eine solche Richtung hat, daß er in dem ruhenden Drahte eine Bewegung hervorgebracht hätte, die der hier dem Drahte gegebenen gerade entgegengesetzt wäre."

Denkt man sich z. B. den Leiter zu dem galvanischen Strome hin bewegt, so müßte der in ihn inducirte Strom gerade eine der seinigen entgegengesetzte Rich-

*) Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 91—99.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 483.

tung haben, wenn in Folge der bekannten elektrodynamischen Wechselwirkung (s. d. Art. Elektromagnetismus) mit dem inducirenden Drahte eine solche Annäherung beider Drähte stattfinden sollte, wie man sie zum Behufe der Erzeugung des Inductionsstromes durch eine äußere mechanische Kraft hervorgebracht hat. Wenn hiernach in der Nähe eines geschlossenen metallischen Leiters ein elektrischer Strom entsteht, so hat der in dem ersteren auftretende Inductionsstrom eine solche Richtung, daß zwischen ihm und dem inducirenden Leiter eine Abstoßung erfolgt.

Die inducirten Ströme zeigen im Wesentlichen alle Eigenschaften eines gewöhnlichen elektrischen Stromes, wie Licht- und Wärmeerscheinungen, magnetische und physiologische Effecte. Versieht man die beiden Endstücke der Drahtrolle, worin der inducirte Strom hervortritt, mit metallischen Handhaben, und faßt man diese mit den Händen, so erhält man beim Schließen und Oeffnen der Kette einen Schlag. Schon eine einfache Zinkkohlenkette, mit deren Polen man die Enden des vertheilend wirkenden oder inducirenden Drahtes verbindet, erregt in einer benachbarten Drahtspirale (aus vielen Windungen) einen sehr kräftigen Schlag. Man erkennt aber leicht, daß die physiologische Wirkung des Inductionsstromes außerordentlich verstärkt werden muß, wenn man durch abwechselndes Schließen und Oeffnen der Kette eine rasche Aufeinanderfolge von Schlägen hervorbringt. Diese Unterbrechung des Hauptstromes kann durch ein Blitzrad (s. d. Art.) oder einfach dadurch geschehen, daß man mit dem einen Pole der galvanischen Kette eine Feile verbindet und an dieser das eine Ende des Schließungsdrahtes auf- und abführt. Doch hat man auch eigends construirte Apparate, welche das abwechselnde Schließen und Oeffnen der Kette auf eine rasche und bequeme Weise mit Hülfe des inducirenden Stromes selbst bewirken. Von diesen Apparaten wird weiter unten noch ausführlicher die Rede sein.

Auch der Schließungsdraht einer Leidner Flasche oder Batterie erregt in benachbarten Leitern einen Strom, dessen Gesetze von Marianini *), Henry **), Rieß und Knochenhauer genauer erforscht worden sind. Besonders haben aber die Untersuchungen von Rieß ***) zur Aufklärung dieses Gegenstandes beigetragen. Derselbe gebrauchte dazu unter anderen Vorrichtungen zwei gleiche, platte Spiralen, deren Windungen in die Vertiefungen zweier Holzscheiben eingekittet waren. Die Zwischenräume waren durch Pech ausgefüllt, welches durch heiße Metallplatten geglättet wurde. Beide Spiralen waren isolirt, und die eine konnte an einem Glasstabe verschoben und der anderen nach Belieben genähert werden. Werden nun die Enden der einen Spirale mit den Belegungen einer Leidner Flasche oder Batterie in Verbindung gebracht, während man die zweite Spirale durch zwei an ihren Enden angebrachte Handhaben schließt, so erhält man durch den Neben- oder Inductionsstrom, welcher in der letzterwähnten Spirale entsteht, einen Schlag. Rieß fand, daß dieser Nebenstrom mit dem primären oder Entladungsstrom der Flasche stets gleiche Richtung hat, wovon er sich vorzugsweise durch die Wirkung

*) Memorie di fisica sperimentale. Modena 1838. Ann. de Chim. et de Phys. 3me Sér. T. X., T. XI. p. 385.

**) Trans. of the Amer. Phil. soc. T. VI. p. 17; Sturgeon, Ann. of Electricity. T. IV. p. 281; Pogg. Ann. Ergänzungsheft. S. 300.

***) Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 55, Bd. XLIX. S. 393, Bd. L. S. 1, Bd. LI. S. 177 u. 351.

jenes Stromes auf einen Harzkuchen und den Condensator überzeugte. Wenn man zwei Drähte, welche mit den Belegungen einer Leidner Flasche verbunden sind, mit den beiden Seiten eines mit einem feinen Pulver (etwa einem Gemenge aus Schwefelblumen und Mennige) bestreuten Harzkuchens in Berührung bringt, so bilden sich, obschon die Flasche nicht eigentlich (vollständig) entladen wird, doch verschiedene Figuren, aus deren Gestalt sich auf die Richtung des Stromes schließen läßt. Der Nebenstrom zeigt nun ganz ähnliche Figuren wie der Hauptstrom, so daß er mit diesem von gleicher Richtung erscheint.

Die wahrscheinliche Ursache dieses Umstandes sieht man darin, daß der auftretende Nebenstrom die Folge von dem Aufhören des primären ist, indem die Anfangswirkung des letzteren, welche einen Strom in entgegengesetzter Richtung induciren würde, von dem Ende der Entladung durch einen so außerordentlich kurzen Zeitraum getrennt ist, daß sie keinen wahrnehmbaren Effect hervorzubringen vermag. Die Stärke des Nebenstromes bestimmte Rieß aus der Erwärmung eines in ein Luftthermometer eingeschlossenen Platindrahtes. Er fand, daß die Elektricitätsmenge im Nebendrahte derjenigen im Hauptdrahte und der wirksamen Länge des letzteren direct und der Entfernung beider Drähte umgekehrt proportional ist. Auch ist die im Nebendrahte erregte Elektricitätsmenge um so größer, je paralleler die beiden Drähte laufen. Der Nebenstrom cirkulirt in einer der Dauer der Hauptentladung proportionirten Zeit, wirkt aber auf die Entladung im Hauptdrahte zurück, und zwar dergestalt, daß er nicht die entladene Elektricitätsmenge, sondern nur die Dauer der Entladung in dem Verhältniß vermindert, in welchem das Leitungsvermögen des Nebendrahtes schwächer als das des Hauptdrahtes ist. Wird die Schließung des Nebendrahtes progressiv verlängert, so nimmt die Einwirkung desselben auf die Batterieentladung zu, erreicht ein Maximum, und nimmt von dort, wenn man mit der Verlängerung fortfährt, wieder beständig ab. Der Grund dieses Verhaltens liegt nach Rieß *) darin, daß die Flaschen- oder Batterieentladung (s. d. Art. Flasche) als eine Folge partieller Entladungen anzusehen ist, von welchen jede in dem Nebendrahte einen elektrischen Strom erregt, der bei besserer oder schlechterer Leitung eine kürzere oder längere Zeit hindurch besteht. Das Verschlechtern der Leitung des Nebendrahtes bewirkt ein längeres Bestehen des Nebenstromes, so daß eine Partialentladung der Batterie eintreten kann, während der von der vorhergehenden Entladung erregte Nebenstrom noch fortbesteht. Je weiter der erste Nebenstrom in die Dauer der zweiten Batterieentladung eingreift, desto stärker muß seine Einwirkung auf dieselbe sein. Denkt man sich aber den Punkt erreicht, wo der erste Nebenstrom die ganze Zeit der zweiten Batterieentladung ausfüllt, so wird die Dauer desselben von geringerem Einflusse sein, als ein anderer diesem Einflusse entgegenwirkender Umstand. Die Kraft eines elektrischen Stromes wird bekanntlich vermindert durch Verlängerung der Leitung, die er zu durchlaufen hat, und ein so geschwächter Strom muß auch nothwendig die hier betrachtete Einwirkung weniger kräftig äußern. So lange die Dauer des Nebenstromes die Dauer der partiellen Batterieentladung nicht erreicht hat, wird die Schwächung des Stromes überwogen durch die längere Zeit, in der er auf den Hauptstrom einwirkt, erst wenn das

*) Pogg. Ann. Bd. LI. S. 177 ff.

Maximum der Einwirkung des Nebendrahtes eingetreten ist, wird mit progressiver Verlängerung der Nebenschließung die immer schwächer werdende Einwirkung desselben bemerkbar sein. Wenn nun die zweite Partialentladung gegen die erste verzögert worden ist durch Einfluß des ersten Nebenstromes, so wird der zweite Nebenstrom länger dauern als der erste, in die dritte Partialentladung weiter eingreifen und dieselbe noch bedeutender verzögern können. So wird auch weiterhin jede Partialentladung durch Einfluß des Nebenstromes gegen die vorhergehende verzögert sein. Das Maximum der Wirkung eines Nebendrahtes auf die elektrische Entladung, welches durch Verlängerung der Nebenschließung erreicht wird, ist übrigens um desto größer, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt. Zugleich aber ist zur Erreichung dieses Maximums eine um so längere Schließung des Nebendrahtes erforderlich.

Rieß fand außerdem noch, daß der vom Schließungsdrahte einer Batterie in einem Nebendrahte erregte Strom unverändert bleibt, wenn zwischen beiden Drähten ein Draht mit freien Enden liegt, daß dagegen der Strom vermindert wird, wenn der Zwischendraht in sich geschlossen ist. Befinden sich also zwei geschlossene Nebendrähte in der Nähe des Hauptdrahtes, so ist der inducirte Strom in jedem schwächer, als wenn nur der eine vorhanden wäre.

Wenn der Schließungsdraht der Batterie in einem Nebendrahte und in einer Metallplatte elektrische Ströme erregt, die gegenseitig auf einander wirken, so steht die Stärke des Stromes im Nebendrahte im umgekehrten Verhältniß zur Dicke der Platte. Isolirende Zwischenplatten verriethen auf die Bildung des Stromes im Nebendrahte keinen bemerkbaren Einfluß.

Wir werden im Verlaufe dieses Artikels noch einmal auf die durch Reibungselektricität bewirkten Inductionsphänomene zurückkommen.

Wir wissen (s. d. Art. Elektromagnetismus), daß der elektrische Strom Magnetismus hervorrufen kann. Umgekehrt hat nun auch der Magnet die Eigenschaft, in einem geschlossenen Leiter das elektrische Gleichgewicht aufzuheben und dadurch einen Strom zu erzeugen, was Faraday *) zuerst durch entscheidende Versuche gezeigt hat. Die Sache selbst ließ sich vermuthen, da man wußte, daß ein gewöhnlicher Magnet sich gewissermaßen wie eine cylindrische Drahtspirale verhält, deren Windungen von einem continuirlichen elektrischen Strome durchflossen werden.

Man denke sich nun um eine Spule von Holz oder Pappe, welche etwa 2 bis 3 Zoll weit ist, einen mit Seide übersponnenen Kupferdraht nach einerlei Richtung gewunden, so daß ungefähr 800 bis 1000 Windungen neben und über einander zu liegen kommen, und die beiden mehrere Fuß weit fortgeführten Drahtenden mit den Enden eines Multiplicators verbunden. Wenn man dann in die Höhlung des Cylinders den Pol eines kräftigen Magneten (etwa bis zur Mitte) schnell hineinschiebt, so zeigt die Multiplicatornadel in der Drahtrolle einen Strom an, der aber bald wieder verschwindet, wenn man den Magnetstab ruhig in der

*) Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 99 ff.

Höhlung liegen läßt. Nimmt man aber den Stab wieder aus der Drahtrolle heraus, so weicht die Nadel nach der entgegengesetzten Seite aus und verräth mithin einen Strom, dessen Richtung der des vorigen entgegengesetzt ist. Man kann natürlich auch umgekehrt so verfahren, daß man eine hohle Drahtrolle über den einen Pol eines Magnetstabes bis zur Mitte desselben schiebt, und dieselbe darauf in die anfängliche Lage zurück, oder statt dessen über den anderen Pol hinausführt. Auch dann erhält man in derselben Weise wie vorher zwei Inductionsströme von entgegengesetzter Richtung.

Man nennt diese durch Magnetismus inducirten Ströme magnetelektrische Ströme. Dieselben haben alle Eigenschaften der oben betrachteten Inductionsströme und beruhen mit diesen bezüglich ihres Ursprunges höchst wahrscheinlich auf demselben Princip.

Die Richtung der magnetelektrischen Ströme bestimmt sich nach folgender von Lenz *) aufgestellten Regel: „Wenn ein Leiter in der Nähe eines Magneten oder umgekehrt ein Magnet in der Nähe eines Leiters in Bewegung geräth, so wird in diesem ein elektrischer Strom inducirt, dessen Richtung gerade die entgegengesetzte sein müßte, wenn vermöge der Wechselwirkung des Leiters mit dem Magneten die Bewegung entstehen sollte, welche zum Behufe der Erzeugung des magnetelektrischen Stromes durch eine äußere mechanische Kraft wirklich hervorgebracht worden ist."

Aus der Induction elektrischer Ströme durch den Magnetismus folgt, daß auch die Nadel eines Multiplicators, wenn sie aus ihrer Ruhelage heraus oder in dieselbe zurücktritt, in dem umgebenden Drahte elektrische Ströme erzeugt, die auf sie selbst zurückwirken müssen. Es seien zwei Magnetnadeln, von denen jede mit einem Drahtgewinde umgeben ist, in einer hinreichenden Entfernung von einander aufgestellt, so daß keine auf die andere unmittelbar einwirken kann. Wird nun die eine dieser Nadeln bewegt, so geräth auch die andere in Bewegung, falls die Enden beider Drahtgewinde leitend mit einander verbunden sind. Durch die Bewegung der ersten Nadel entsteht nämlich in dem umgebenden Drahtgewinde ein Strom, in Folge dessen auch die andere Nadel eine Ablenkung erfährt. Denkt man sich ein Drahtgewinde mit einer ganzen Reihe von Multiplicatoren in leitender Verbindung, so gerathen in den letzteren alle Nadeln augenblicklich in Bewegung, wenn man in das Drahtgewinde den Pol eines starken Magnetstabes schiebt. Sind die Drahtenden eines Multiplicatorgewindes mit einander verbunden, so nehmen die Schwingungen der Magnetnadel viel rascher an Größe ab, als wenn das Gewinde offen ist, weil im ersten Falle durch jede Bewegung der Nadel in den Windungen des Drahtes ein Strom erregt wird, der sie nach einer ihrer Bewegung entgegengesetzten Richtung abzulenken strebt. Steht das Drahtgewinde parallel mit der Ebene des magnetischen Meridians und wird der Nordpol der Magnetnadel z. B. nach West gedreht, so entsteht in den Windungen des Drahtes ein Strom, der diesen Pol nach Ost zu bewegen sucht. Und wenn sich der letztere in diesem Sinne bewegt, so wird ein Strom inducirt, der sie westlich abzulenken strebt. Da diese Inductionsströme sofort verschwinden, wenn die Nadel in irgend einer Lage zur Ruhe gekommen ist, so können sie auf die durch einen sonstigen elektrischen Strom veränderte Gleichgewichtslage der Nadel keinen weiteren Einfluß üben, wohl

*) Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 483 ff.

aber können sie benutzt werden, um die übermäßigen Bewegungen der Multiplicatornadel zu mäßigen oder zu dämpfen, indem man die letztere, parallel mit den Windungen des Multiplicators, mit einem einfachen, etwas dicken geschlossenen Metallringe umgiebt.

Eine Magnetnadel, die über einer nahe darunter befindlichen Kupferscheibe oscillirt, kommt ebenfalls viel schneller als sonst zur Ruhe. Es werden nämlich auch hier durch die oscillirende Nadel in der Scheibe Ströme inducirt, welche auf die Nadel hemmend zurückwirken, wenn die Scheibe ihren Bewegungen nicht nachfolgen kann. Gauß machte hiervon eine Anwendung, um die Schwingungen des Magnetstabes im Magnetometer (s. d. Art.) zu dämpfen. Uebrigens muß man, um hinsichtlich der von der Induction herrührenden Abnahme der Schwingungsweiten ein reines Resultat zu erhalten, die durch den Luftwiderstand bewirkte Verminderung des Schwingungsbogens davon abziehen.

Wenn man eine Kupferscheibe unterhalb einer frei beweglichen Magnetnadel in Rotation um eine verticale Are versetzt, so erleidet die Nadel im Sinne dieser Bewegung eine Ablenkung und geräth endlich selbst in eine rotirende Bewegung. Um Luftströmungen abzuhalten, kann man die Nadel innerhalb einer Glasglocke, welche unten durch ein Papierblatt geschlossen ist, an einem Seidenfaden aufhängen. Beim Beginn der Rotation wird die Nadel um einen Winkel abgelenkt, dessen Größe durch die Geschwindigkeit der Umdrehung und durch den Erdmagnetismus, welcher die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt, bestimmt ist. In dieser Lage verharrt die Nadel, falls die Umdrehung mit constanter Geschwindigkeit fortgesetzt wird. Dreht man aber schneller, so nimmt auch die Ablenkung zu, bis endlich die Nadel selbst zu rotiren anfängt, sobald die Geschwindigkeit eine gewisse Grenze überschritten hat. Diese Erscheinungen wurden zuerst von Arago im Jahre 1824 wahrgenommen. Derselbe ließ die Kupferscheibe bei einem hierzu construirten Apparate durch ein Uhrwerk in Bewegung setzen. Umgekehrt wird auch eine beweglich aufgehängte Kupferscheibe durch einen unter ihr rotirenden Magnetstab in eine drehende Bewegung versetzt.

Die Intensität der Wirkung ist um so größer, je näher der Magnet und die Kupferscheibe einander sind, je größer die Masse der letzteren und je stärker der Magnetismus der Nadel ist. Jedoch ist ein gewisses Größenverhältniß zwischen dem Magneten und der Scheibe nothwendig. Ist die Masse der Scheibe unterbrochen, hat sie z. B. in der Richtung ihrer Radien Einschnitte, so geht ein bedeutender Theil ihres Einflusses auf die Nadel verloren, tritt aber wieder hervor, wenn man die Zwischenräume ausfüllt, was selbst durch ein anderes Metall geschehen kann. Dagegen stellt sich die volle Wirkung nicht wieder ein, wenn man die Einschnitte durch kein zusammenhängendes Metall, sondern durch stark zusammengepreßtes Metallpulver oder durch eine Flüssigkeit ausfüllt. Werden zwischen den Magneten und die Kupferscheibe andere Körper gebracht, so schwächen sie die Wirkung, wenn sie selbst eine ganz ähnliche beim Rotiren hervorzubringen vermögen *).

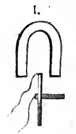
Die Ablenkung und Rotation der Nadel rührt von einer Kraft her, welche nach der Tangente der Scheibe wirkt. Außer dieser giebt es aber noch zwei andere Kräfte, welche gleichfalls von der Scheibe ausgehen und von der die eine senkrecht

*) Herschel und Babbage in Philosoph. Transact. f. 1825. p. 481.

auf ihrer Ebene, die andere aber damit parallel ist. Die erstere von diesen beiden Kräften wirkt abstoßend auf jeden Pol eines Magneten, was man sogleich erkennt, wenn man an einen Wagebalken einen Magnetstab vertical befestigt und unter ihm eine Scheibe rotiren läßt. Die zweite Kraft wirkt in der Richtung des Halbmessers der Scheibe, und zwar in der Nähe des äußeren Umfanges abstoßend, aber immer weniger, je mehr man sich dem Mittelpunkte der Scheibe nähert. Bringt man nämlich eine Inclinationsnadel so über die Scheibe, daß sie eine verticale Richtung annimmt, so wird sie bei der Rotation der Scheibe in der Nähe des Randes vom Centrum gegen die Peripherie hin abgestoßen; nähert man sie aber allmälig dem Centrum der Scheibe, so wird die Abstoßung immer geringer, so daß sie an einer bestimmten Stelle zwischen Centrum und Peripherie gleich 0 wird, indem die Nadel hier eine vollkommen verticale Stellung annimmt. Noch weiter gegen das Centrum hin erleidet sie eine Anziehung, vermöge deren sie sich nach dem Centrum hin bewegt. Im letzteren selbst ist diese Kraft wieder gleich Null.

Die beschriebenen Erscheinungen sind nun eine Folge der inducirenden Wirkung des Magneten, indem nämlich der letztere in der rotirenden Scheibe Ströme inducirt, kraft deren sie auf ihn selbst zurückwirkt. Durch Faraday*) ist die Existenz dieser Ströme wirklich nachgewiesen worden. Man bringt eine Kupferscheibe, welche um eine horizontale Axe drehbar ist, so zwischen die Pole eines Hufeisenmagneten, daß ihr oberer Rand entweder in die Ebene der beiden Pole oder noch etwas darunter fällt. Das eine Drahtende eines Multiplicators bringt man nun mit dem amalgamirten Rande, das andere aber mit der Axe der Scheibe in leitende Verbindung. Wird dann die Scheibe gedreht, so erhält die Nadel des Multiplicators eine Ablenkung, deren Richtung von der Richtung der Rotation abhängt. Auch weicht die Nadel nach der entgegengesetzten Richtung aus, wenn man die Pole des Magneten, ohne sonst etwas zu verändern, mit einander verwechselt. Die angezeigten Ströme bewegen sich in der Richtung des Radius der Scheibe, und zwar je nach der Umdrehungsrichtung entweder von der Peripherie gegen das Centrum oder im umgekehrten Sinne. Läßt man nur den einen Pol eines Magneten auf die Scheibe wirken, so sind die Erscheinungen im Wesentlichen dieselben und blos der Intensität nach verschieden. Befindet sich z. B. der Nordpol des Magnets über einer horizontalen Scheibe, welche sich schraubenrecht dreht, so zeigt die Ablenkung der Multiplicatornadel einen Strom an, der vom Centrum der Scheibe nach dem Umkreise derselben geht. Wenn man die Verbindung der Scheibe mit dem Multiplicator aufhebt, so müssen diese Ströme natürlich ihren Umlauf in der Scheibe selbst halten, wie die beistehende Fig. II. zeigt, wo der Strom vom Centrum am Magnetpol vorbei zum Umkreise geht, um in dem entfernt vom Pole liegenden Theile der Scheibe zurückzukehren. Hängt man über einer horizontalen, nach rechts rotirenden Kupferscheibe eine horizontale Magnetnadel auf, so erregt der eine Pol n einen Strom, der vom Centrum nach der Peripherie b geht, der Pol s aber einen solchen, welcher von dem Umkreise a nach der Mitte fließt. Daher

I.

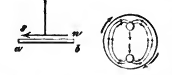


II.



*) Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 120.

entsteht aus der vereinigten Wirkung beider Pole ein Strom, der von a nach b gerichtet ist. Diese Ströme werden in der Scheibe einen Lauf haben, wie die beistehende Figur zeigt. Durch solche Ströme wird die Kraft vermittelt, welche die tangentiale Ablenkung der Nadel zur Folge hat.



Scheiben von anderen Metallen zeigen dieselbe Wirkung, nur verschieden an Stärke. Obschon also die oben erwähnten Erscheinungen ohne Zweifel Wirkungen inducirter Ströme sind, so scheint doch bei einer Scheibe aus weichem Eisen die gewöhnliche magnetische Vertheilung, welche von den Polen des in der Nähe befindlichen Magneten ausgeht, von vorherrschendem Einflusse zu sein.

Auch durch die Rotation eines Magneten um seine Axe entstehen, wie Faraday gezeigt, elektrische Ströme, welche ein Galvanometer zu erkennen giebt, wenn man das eine Ende des Magneten und eine Stelle zwischen seinen Polen mit den Drahtenden des Galvanometers in leitende Berührung bringt. Es sei der Magnetstab mit seinem Nordpol nach oben gerichtet und der letztere, so wie auch die Mitte des Stabes mit dem Multiplicator in Verbindung. Giebt man nun dem Magneten eine Drehung um seine Axe, die in ihrer Richtung mit der der Zeiger einer Uhr (mit dem Zifferblatt nach oben) übereinstimmt, so zeigt der Multiplicator einen elektrischen Strom an, der von der Mitte des Magnetstabes zum Nordpol desselben gerichtet ist. Geschieht die Drehung gegen die des Uhrzeigers, so geht der erregte Strom vom Pole zur Mitte. Ist aber der Südpol nach oben gekehrt und zugleich die Mitte des Stabes mit dem Multiplicator in Verbindung gesetzt, so ist der Strom bei der ersten Drehung vom Pole zur Mitte, bei der zweiten von der Mitte zum Pole gerichtet. — Man erkennt leicht, daß dieser Versuch das Gegenstück zu dem im Artikel Elektromagnetismus erwähnten Versuche bildet, wo ein um seine eigene Axe drehbarer Magnet um dieselbe in dem einen oder anderen Sinne rotirt, je nachdem ein galvanischer Strom von seinem nach oben gekehrten Nordpol bis zur Mitte oder in entgegengesetzter Richtung durch seine Masse hindurchgeht. Weber *) nennt diese Art der Stromerzeugung durch einen Magneten die unipolare Induction. Ein gewöhnlicher Magnetstab ist zu betrachten als ein Inbegriff polarerregter Theilchen, so daß jedes magnetische Molecül oder kleinste Massentheilchen aus zwei entgegengesetzten Hälften oder Polen besteht. Wird ein solcher Magnet bewegt, so wird in einen benachbarten Leiter ein elektrischer Strom inducirt, der so beschaffen ist, daß man ihn in zwei Ströme zerlegen kann, von denen der eine durch die Bewegung des nördlichen Pols, der andere durch die Bewegung des südlichen entsteht. Diese Induction zweier Ströme durch die Bewegung beider Pole nennt Weber im Allgemeinen die bipolare Induction. Es ist aber auch eine Induction denkbar, wobei entweder blos ein magnetisches Element (Pol) bewegt wird, und also der von dem anderen inducirte Strom stets Null ist, oder das andere Element des magnetischen Molecüls auf einander folgende Ströme von entgegengesetzten Richtungen inducirt, deren Summe Null ist, so daß auch hier blos derjenige Strom bleibt, welcher vom ersteren Pol

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. LII. S. 353.

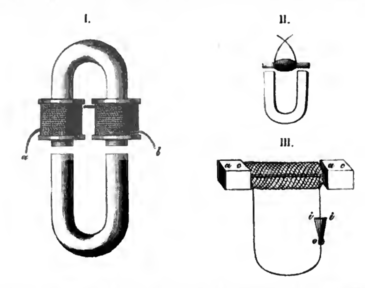
inducirt. Diese Induction eines Stromes durch die Bewegung eines magnetischen Elements heißt unipolare Induction.

Denkt man sich nun ein magnetisches Molecül gegen einen geschlossenen metallischen Ring so bewegt, daß jedes Element (Pol) eine in sich zurückkehrende Bahn beschreibt, und zwar so, daß der eine Pol die Ringebene durchschneidet, während die Bahn des anderen Poles ganz außerhalb des Ringes bleibt, was freilich nur möglich ist, wenn der Ring bei der Bewegung des Molecüls durchbrochen werden kann, ohne daß die metallische Schließung desselben aufgehoben wird. Der durch die Ringebene gehende Pol erregt dann während seiner Bewegung einen Strom von stets einerlei Richtung, der andere aber gar keine oder vielmehr zwei ungleichartige Ströme, deren Wirkung im Ganzen verschwindet. Der Ring kann aber durchbrochen werden ohne Unterbrechung des Kreislaufes, wenn das untheilbare magnetische Molecül so beschaffen ist, daß der galvanische Strom mitten zwischen beiden Polhälften hindurchgehen kann, weil dann das Molecül während der Durchbrechung des Ringes die leitende Gemeinschaft unterhält. Der Multiplicatordraht bildet nun mit jeder Linie, die man sich im Magneten zwischen den Berührungspunkten des letzteren mit den Drahtenden des Multiplicators denken kann, einen solchen Ring, in welchem durch magnetische Molecüle, die nur der einen Hälfte nach hindurchgehen, ein Strom in stets einerlei Richtung erregt wird.

Statt der directen Wirkung eines Magnets kann man zur Erzeugung magnetoelektrischer Ströme auch den vorübergehenden durch Vertheilung hervorgerufenen Magnetismus des weichen Eisens mit Vortheil verwenden. Schiebt man in die Höhlung einer Drahtrolle einen cylindrischen Eisenstab, und nähert man dem einen oder anderen Ende des letzteren einen Magnetpol, so entsteht in den Windungen der Rolle ein Strom von derselben Richtung, als wenn man den Magneten allein der Drahtrolle in gleichem Sinne genähert hätte. Doch ist der durch den Magnetismus des weichen Eisenkerns erweckte Strom von größerer Intensität, als der durch die gleiche Annäherung des Magneten (ohne den Eisenkern) entstehende Strom sein würde. Durch die Entfernung des Magnetpoles vom Eisen, wobei dieses seinen Magnetismus verliert, tritt in der Rolle ein gleich starker Strom von entgegengesetzter Richtung hervor. Zweckmäßiger noch kann man den beiden Enden des Eisenstabes gleichzeitig die ungleichartigen Pole eines passenden Hufeisenmagnets nähern. Der Eisenstab wirkt dann eben so, als ob man in die Höhlung der Drahtrolle von der einen Seite her einen Nordpol, von der anderen aber einen Südpol hineingeschoben hätte. Da nun beide Pole ihre Bewegung gegen die Drahtrolle hin in entgegengesetztem Sinne vollführen, so müssen sie in den Windungen der letzteren Ströme von gleicher Richtung erregen. Zieht man den Hufeisenmagnet wieder zurück, so verhält es sich gerade so, als ob aus der Drahtrolle zwei ungleichartige Magnetpole nach entgegengesetzten Richtungen herausgezogen worden wären.

Einen langen, mit Seide übersponnenen Kupferdraht wickele man um die beiden Schenkel eines hufeisenförmigen Stabes von weichem Eisen, dergestalt, daß beide Schenkel bei einem durch die Windungen des Drahtes geleiteten Strome entgegengesetzte Pole darstellen würden. Wenn man nun, während die Drahtenden in hinreichender Entfernung vom Eisen mit einem Multiplicator verbunden sind, einen starken Hufeisenmagnet den Schenkeln des umwickelten Eisens nähert und wieder davon entfernt, so erhält man auch hier zwei Inductionsströme von entgegengesetzten Richtungen (s. umstehende Fig. I.). Faßt man die beiden Drahtenden

oder daran befestigte metallische Handhaben mit den Händen, so erhält man unter den erwähnten Umständen einen Schlag. Werden aber die beiden Drahtenden in einer sehr kleinen Entfernung einander gegenübergehalten, so sieht man bei der Annäherung und Entfernung des Hufeisenmagnets einen Funken überspringen. Um einen Funken hervorzubringen, kann man sich auch der folgenden einfachen Vorrichtung bedienen, die in der Hauptsache gleichzeitig von Strehlke*) und Faraday gefunden worden ist. Den mittleren Theil des Ankers eines starken, horizontal gelegten Hufeisenmagnets (von etwa 10 — 12 Pfund Tragkraft) umwickelt man in mehreren Lagen mit ungefähr 50 Windungen eines mit Seide besponnenen $^1/_4$ Linie dicken Kupferdrahtes (Fig. II.). Die beiden Drahtenden, jedes



6 bis 7 Zoll lang, werden von Seide entblößt und in die Ebene des Magnets gebogen, so daß sie an einer Stelle sich berühren. In dieser Lage bleiben sie leicht, wenn man sie in gehöriger Weise an der Drahtumwickelung mit einem Faden fest bindet. Setzt man nun den Anker rasch an die Polflächen des Magnets an oder reißt man ihn schnell davon ab, so fahren die Drähte bei dieser Bewegung etwas aus einander und man sieht einen Funken überspringen.

Zur Erzeugung mehrerer gleichzeitiger Funken hat R. Böttger**) einen sogenannten Spitzenanker vorgeschlagen (Fig. III.). Zwei Würfel ac, ac aus weichem Eisen, deren Seiten $1^1/_4$ Par. Zoll betragen, sind durch eine dünne cylindrische Axe mit einander verbunden, um welche in etwa 160 Windungen ein $^2/_3$ Linie dicker, mit Seide besponnener Kupferdraht geschlungen ist, dessen Enden auf ungefähr 4 Zoll entblößt und nach unten gekehrt sind. Um diese Enden stets

*) Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 186.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 497.

in derselben **Lage** zu erhalten, sind sie mittelst einer Schnur an der inwendigen Seite der **Würfel** befestigt. An dem längeren Drahtende sind nun bei o etwa 20 **Spitzen eines** ganz feinen übersilberten Kupferdrahtes (womit man gewöhnlich die D-**Saiten der** Guitarren zu überspinnen pflegt) befestigt, welche man in einer Länge **von etwa** $^1/_2$ Zoll abschneidet, und sie so biegt, daß sie genau die polirte, der Größe **und** Gestalt nach einem Pfennige ganz ähnliche Kupferplatte i i schwach **berühren.** Beim Anlegen und Abreißen dieses Ankers an und von einem ungefähr 50 bis 60 Pfund tragenden Magneten, sieht man dann mehrere Funken zugleich auf der kleinen Kupferplatte entstehen. Außer der Eigenthümlichkeit des Ankers und der **Spitzen** hat dieser Apparat fast dieselbe Einrichtung wie der von Faraday angegebene. Wirksame Apparate zum Behufe der Funkenerzeugung haben auch Antinori und Nobili angegeben.

Nach dem bisher Mitgetheilten läßt sich wohl erwarten, daß auch durch den Erdmagnetismus elektrische Ströme hervorgebracht werden können. Faraday *) hat dies auf verschiedene Weise nachgewiesen. Steckt man nämlich in die Höhlung einer Drahtrolle einen unmagnetischen Stab von weichem Eisen, so entsteht in dem mit der Drahtrolle verbundenen Multiplicator eine Ablenkung der Magnetnadel, wenn die Axe der Rolle mit dem Stabe in die Richtung einer Inclinationsnadel gehalten oder wieder daraus entfernt wird. Wird die Drahtrolle vorher in die Richtung der Neigungsnadel gebracht und dann ein weicher Eisencylinder hineingesteckt, so weicht die Multiplicatornadel augenblicklich ab. Beim Herausziehen des Cylinders ging die Nadel nach der anderen Seite, und die Resultate waren überhaupt dieselben, als ob von oben her der Nordpol oder von unten her der Südpol eines Magnets in die Drahtrolle geschoben worden wäre. Wenn man aber die Drahtrolle, während der Eisencylinder in ihr fest liegt, schwingend auf und ab bewegt, so daß das eine Ende des Cylinders in der Richtung der Inclination abwechselnd nach oben und nach unten gekehrt ist; so beschreibt die Multiplicatornadel nach zwei- bis dreimaliger Wiederholung dieser Umkehrung (in Uebereinstimmung mit den Schwingungen der anfangs ruhigen Nadel) einen Bogen von 150 bis 160°. Bei Faraday's Versuche bestand die Drahtrolle aus einem etwa 300 Fuß langen und $^1/_{20}$ Zoll dicken Kupferdrahte.

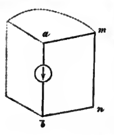
Diese Erscheinungen sind eine nothwendige Folge der vertheilenden Kraft des Erdmagnetismus, wodurch der Eisencylinder zu einem Magneten wird, dessen nördlicher Pol nach unten liegt. Der Versuch ist dem oben erwähnten ähnlich, worin die beiden ungleichartigen Pole eines Hufeisenmagnets zur Magnetisirung desselben Eisencylinders in derselben Drahtrolle angewendet werden, und die Umkehrung der Stellung im gegenwärtigen Versuche hat denselben Erfolg wie die Polumkehrung in jenem Versuche.

Der Erdmagnetismus kann auch unmittelbar, ohne Anwendung eines Stabes aus weichem Eisen einen elektrischen Strom induciren. Als Faraday eine Drahtrolle (ohne Eisenstab) in die Richtung der Neigungsnadel stellte und dann umkehrte, konnte er an der Nadel des Multiplicators eine schwache Ablenkung bemerken. Nach oft wiederholter Umkehrung aber, in solchen Zeiten, daß die ablenkenden Kräfte, welche die erregten Ströme ausübten, das Moment der Nadel

*) Phil. Transact. f. 1832. p. 153. Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 142.

verstärkten, wurde diese bald zu Schwingungen von 80° bis 90° gebracht. Nachstehende Vorrichtung erschien Faraday als die einfachste und zweckmäßigste, um die Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus, ohne Mitwirkung eines weichen Eisenstabes, nachzuweisen.

Ein etwa 8 Fuß langer, 0,05 Zoll dicker Kupferdraht wird mit seinen Enden an die Endstücke des Galvanometerdrahtes befestigt, und dann roh in die Gestalt eines Rechtecks gebogen. Die untere Seite dieses Rechtecks nebst dem damit verbundenen Galvanometer wird befestigt, die obere Seite aber beweglich gelassen. Wird dieses Rechteck von der Rechten zur Linken über dem Galvanometer fortgeführt, so weicht die Nadel augenblicklich ab; wird es zurückgeführt, so weicht sie nach der entgegengesetzten Seite ab. Werden diese Bewegungen des Rechtecks in Uebereinstimmung mit den Oscillationen der Magnetnadel wiederholt, so läßt sich die letztere zu einer Schwingung von 90° und mehr bringen. Giebt man a b die Richtung des magnetischen Aequators, und bewegt man m n von Nord nach Süd, so zeigt die Multiplicatornadel einen Strom an, der in m n von West nach Ost geht. Dreht man dagegen m n von Süd nach Nord, so hat der Inductionsstrom in m n die Richtung von Ost nach West. Die Wirkung kann verstärkt werden, wenn man einen Draht in vielen Windungen um einen hölzernen Rahmen herumführt.



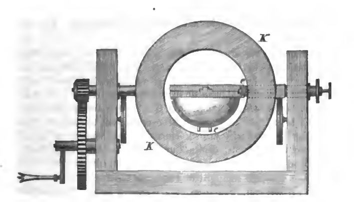
Palmieri *) wickelte eine Spirale von 200 Windungen um einen elliptischen Rahmen, dessen große Axe 2,2 Meter und deren kleine Axe 0,6 Meter lang war. Die große Axe wurde senkrecht gegen den magnetischen Meridian gestellt und die Spirale um dieselbe gedreht. Durch die Wirkung des Erdmagnetismus erhielt Palmieri in dieser Spirale Inductionsströme, welche physiologische Wirkungen, Funken und Wasserzersetzung hervorbrachten.

Auf der Induction durch den Erdmagnetismus beruht das von W. Weber**) angegebene Inductions-Inclinatorium zur Bestimmung der Inclination der erdmagnetischen Kraft. Ein Kupferring K K (s. umstehende Fig.) wird von einer horizontalen Axe getragen, die auf Frictionsrollen liegend, durch Rad und Getriebe schnell gedreht werden kann. In diesem Ringe schwebt eine Boussole frei auf einer Spitze, die von einem runden horizontalen Zapfen getragen wird, welcher durch den Kupferring geht und die Verlängerung der Drehungsaxe des Ringes bildet. Der Kupferring dreht sich um diesen Zapfen, ohne ihn und die Spitze, auf welcher die Magnetnadel ruht, zu bewegen. Stellt man nun dieses Instrument so auf, daß die Drehungsaxe des Kupferringes horizontal ist, und mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, so wird die im magnetischen Meridian liegende Axe der Boussole auch in der Drehungsaxe des Kupferringes sich befinden. Wenn nun die magnetische Axe der Boussole in der Drehungsaxe des Kupferringes liegt, so kann der Nadelmagnetismus so wenig als die horizontale erdmagnetische

*) Compt. rend. T. XVI. p. 1440; T. XVIII. p. 762.

**) Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins. Heft II. S. 81. Pogg. Ann. Bd. 43. S. 493.

Kraft im Kupferringe einen elektrischen Strom induciren. Wohl aber wird der verticale Theil der erdmagnetischen Kraft einen Strom im Kupferringe induciren, wenn man diesen um eine horizontale Axe dreht. Zwei Kräfte wirken auf die



Boussole ein, die eine parallel mit dem magnetischen Meridian (die Directionskraft des Erdmagnetismus), die andere senkrecht gegen den magnetischen Meridian (die ablenkende Kraft des Stromes). Jene Directionskraft rührt vom *horizontalen*, diese ablenkende Kraft dagegen von dem verticalen Erdmagnetismus her, und die Tangente des Ablenkungswinkels muß daher dem Verhältnisse des verticalen und horizontalen Erdmagnetismus, d. i. der Tangente der gesuchten Inclination, proportional sein. Die horizontale erdmagnetische Kraft wirkt unmittelbar auf die in horizontaler Ebene drehbare Nadel; sie ist es, durch welche die Nadel die Richtung des magnetischen Meridians annimmt. Die verticale erdmagnetische Kraft kann dagegen auf die blos in horizontaler Ebene drehbare Nadel nur mittelbar wirken, indem sie selbst zwar aufgehoben wird, durch Induction im Kupferringe aber eine neue horizontale, auf den Meridian senkrechte Kraft erzeugt. Diese horizontale Kraft ist der verticalen, durch die sie entsteht, proportional. Hat nun die Axe des Instrumentes, wie in der Figur angegeben ist, in der Richtung des magnetischen Meridians eine horizontale Lage, so entsteht durch den verticalen Theil der erdmagnetischen Kraft, wenn man den oberen Theil des Kupferringes von Ost nach West dreht, ein Strom, durch welchen der Nordpol der Nadel nach Ost abgelenkt wird. Das Instrument ist nun weiter so eingerichtet, daß dasselbe mit seiner Drehungsaxe vertical gestellt, und dann die Boussole auf denselben Zapfen (durch die Hülse *e*) wieder so aufgestellt werden kann, daß sie wieder in der Mitte des Kupferringes sich befindet und in horizontaler Ebene frei drehbar ist. Dreht man jetzt den Ring um die verticale Axe, so inducirt der horizontale Theil der erdmagnetischen Kraft einen elektrischen Strom und bewirkt durch diesen eine Ablenkung der Boussole. Die beiden auf solche Weise hervorgebrachten Ströme sind den inducirenden Kräften proportional, und die Tangenten der von ihnen bewirkten Ablenkungen der Boussole sind den ablenkenden Kräften oder jenen beiden Strömen proportional. Daher giebt das Verhältniß der Tangenten beider Ablen-

kungen das Verhältniß der horizontalen und verticalen erdmagnetischen Kraft oder die Tangente der gesuchten Inclination. Das Weitere über den Gebrauch dieses Instrumentes findet man in dem Art. Neigung der Magnetnadel.

Die Gesetze, nach denen sich die Stärke des durch den Magnetismus inducirten Stromes richtet, sind von Lenz *) genauer untersucht worden. Hierbei waren zu berücksichtigen die Anzahl und Weite der Windungen, die Dicke und die Substanz des Drahtes.

Zur Bestimmung der Stromintensität gebrauchte Lenz einen Multiplicator, mit empfindlicher Nobili'scher Doppelnadel, von 74 Windungen eines 0,025 engl. Zoll dicken Kupferdrahtes, der mit der magnetoelektrischen Drahtrolle durch hinreichend lange Leitungsdrähte in Verbindung gesetzt wurde, so daß der inducirende Magnet durchaus keine unmittelbare Einwirkung auf die Nadeln des Multiplicators haben konnte. Der letztere wurde mit einem an beiden Enden offenen Glascylinder bedeckt und dieser mittelst einer Spiegelglasplatte geschlossen. Alsdann wurde über ihm ein guter Spiegel unter 45° Neigung aufgestellt, und das in ihm sich spiegelnde Bild der getheilten Multiplicatorscheibe von einem Standpunkte neben dem Magnete aus mittelst eines guten Fernrohres beobachtet.

Die Art der Erregung des elektrischen Stromes in der Spirale (Rolle) war die von Nobili angegebene. Man umwickelte nämlich einen Cylinder von weichem Eisen, der als Anker diente, und an den Stellen, wo er an den Magneten angelegt wurde, flach gefeilt worden war, mit dem elektromotorischen (magnetoelektrischen) Drahte, und legte ihn dann an den Magneten an oder zog ihn plötzlich von demselben fort, wodurch der im Augenblicke in dem Anker entstehende oder wieder verschwindende Magnetismus den momentanen elektrischen Strom hervorbrachte. Da aber das Abziehen viel sicherer, plötzlicher und gleichförmiger geschehen kann, als das Anlegen, so führte Lenz nur die Resultate an, welche durch das Abziehen des Ankers oder die plötzliche Entfernung des Magnetismus im Eisen hervorgebracht wurden. Bei der getroffenen Anordnung des Apparates ließ sich nun mit der rechten Hand die Abreißung des Ankers von dem, an dem Tische befestigten, Magneten ausführen, während zugleich das Auge im Fernrohre die dadurch verursachte Abweichung des Multiplicatorzeigers beobachten konnte. Jede einzelne Beobachtung wurde, um zufällige Fehler zu vermeiden, in der Regel zweimal gemacht. Da die Einwirkung des elektrischen Stromes im Multiplicatordrahte auf die Magnetnadel eine augenblickliche ist, indem der Strom selbst nur einen Augenblick existirt, so läßt sich diese Einwirkung wie ein Stoß auf die Nadel denken, und die Kraft desselben durch die Geschwindigkeit, die er der Nadel ertheilt, messen. Diese Geschwindigkeit der Nadel ist aber dem Ohm'schen Gesetze zufolge (s. d. Art. Strom, elektrischer) der Sehne des von dem Endpunkte der Nadel beschriebenen Bogens, mithin dem Sinus des halben Ablenkungsbogens proportional.

Lenz kam nun durch seine Versuche zu dem allgemein gültigen Gesetze, daß die elektromotorische Kraft, welche der inducirende Magnetismus in der Spirale erregt, gleich ist der Summe der elektromotorischen Kräfte der einzelnen Windungen.

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 385.

Darum verhält sich bei hinreichender Länge des Magneten die elektromotorische Kraft der Spirale, bei gleicher Größe der Windungen, und bei gleicher Dicke und gleicher Substanz des Drahtes, direct wie die Anzahl der Windungen.

Die elektromotorische Kraft, welche der Magnetismus in der ihn umgebenden Spirale erregt, ist bei jeder Größe der Windungen dieselbe, falls der inducirende Magnet gegen die Weite der Windungen als unendlich lang anzusehen ist, oder wenn der in der Spirale liegende Eisenstab, welcher als Anker des vertheilend wirkenden Magnets dient, auf beiden Seiten der Drahtrolle sich auf eine sehr große Entfernung hin, (im Verhältniß zur Weite der Windungen) fort erstreckt *).

Da aber ein spiralförmig den Anker umschließender Draht, je größer sein Durchmesser oder sein Abstand vom Anker wird, auch in eben dem Verhältniß eine größere Länge der Einwirkung des Magnetismus im Anker darbietet, so folgt aus dem so eben aufgestellten Gesetze, daß auf ein und dasselbe Theilchen des Drahtes die elektromotorische Einwirkung des Magnets im einfachen Verhältniß der Entfernung abnimmt. Dieses ist gewissermaßen die Umkehrung des von Biot im Gebiete des Elektromagnetismus erwiesenen Gesetzes (s. d. Artikel Elektromagnetismus), nach welchem die gesammte Wirkung eines elektrischen Schließungsdrahtes auf eine Magnetnadel im einfachen Verhältniß der Entfernung abnimmt, und es folgt aus den Versuchen von Lenz, wie aus denen Biot's, daß die Wirkung eines magnetischen Massentheilchens auf ein Theilchen der Spirale im umgekehrten Verhältniß des Quadrates der Entfernung steht. Auch folgt unmittelbar weiter, daß der in verschiedenen den Anker umschließenden Drahtringen, durch Abziehen desselben vom Magnete hervorgebrachte elektrische Strom sich umgekehrt wie der Durchmesser der Ringe verhalte.

Wenn die Weiten zweier gleich dicker Ringe beispielsweise wie 1 : 2 sich verhalten, so stehen die in jedem Theilchen dieser Ringe inducirten Elektricitätsmengen in dem Verhältniß von 2 : 1. Der weitere Ring hat aber hier die doppelte Masse des engeren, und deshalb werden in beiden Ringen, unter fast gleichen Umständen, gleiche Elektricitätsmengen hervortreten.

Ist dagegen der inducirende Magnetstab oder der in der Spirale liegende Anker im Verhältniß zur Weite der Windungen nicht von hinreichender Länge, so kommen die weiteren Windungen gegen die engeren etwas in Nachtheil.

„Die durch den Magnetismus in der Spirale hervorgerufene elektromotorische Kraft bleibt (bei unverändertem Leitungswiderstand) für jede Dicke der Drähte dieselbe, oder ist von ihr unabhängig."

Mit diesem Gesetze steht aber in nächster Beziehung, daß in Windungen von Drähten ungleicher Dicke, welche den Anker des Magneten umgeben, der durch das Abziehen desselben hervorgerufene elektrische Strom sich direct wie die Querschnitte der Drähte verhalte. Denn die elektromotorische Kraft bleibt dieselbe, der Leitungswiderstand nimmt aber umgekehrt wie die Querschnitte ab, folglich nehmen die elektrischen Ströme wie die Querschnitte zu.

„Die elektromotorische Kraft, welche der Magnet in Spiralen aus Drähten von verschiedenen Substanzen, die sich aber sonst unter ganz gleichen Umständen befinden, erregt, ist für alle diese Substanzen vollkommen dieselbe."

*) Lenz in Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 266.

Es folgt aber hieraus ohne Weiteres, daß sich in zwei sonst ganz gleichen Drahtringen aus verschiedener Substanz, welche den magnetischen Anker umschließen, die elektrischen Ströme, welche durch Abziehen oder Anlegen desselben an den Magneten hervorgerufen werden, direct wie die Leitungsfähigkeiten der Substanzen für Elektricität verhalten.

Befindet sich in der Höhlung einer Drahtrolle, deren Enden mit den Polen einer galvanischen Kette verbunden sind, ein Stab aus weichem Eisen, so weiß man, daß dieser zu einem Elektromagneten wird. Sind nun um einen hohlen Cylinder von Holz zwei mit Seide besponnene Kupferdrähte gewunden, von denen der eine mit der Kette verbunden, der andere aber irgend wie geschlossen ist, so wird der Inductionsstrom in dem Nebendrahte durch den in der Höhlung des Cylinders befindlichen Elektromagneten verstärkt. Wird die galvanische Kette geöffnet, so entsteht bekanntlich beim Verschwinden des primären Stromes ein mit diesem gleichgerichteter Strom im Nebendrahte. Da nun mit dem Aufhören des galvanischen Stromes auch der Eisenstab seinen Magnetismus verliert, und mit dem Verschwinden des letzteren im Nebendrahte ein Strom entsteht, der gleiche Richtung mit dem primären Strome hat, so erkennt man wohl, wie durch die Anwesenheit des Eisenstabes in der Inductionsrolle eine Verstärkung der inducirten Elektricität herbeigeführt werden muß.

Die Zuckungen, welche man auf diese Weise bei Anwendung einer Drahtrolle mit einem in ihr befindlichen Eisenkern erhält, können noch bedeutend verstärkt werden, wenn man statt eines massiven Eisenkerns ein Bündel von Eisendrähten anwendet, die man durch einen Firniß- oder Seidenüberzug isoliren kann. Bachhoffner und Sturgeon *) scheinen dies zuerst wahrgenommen zu haben. Zur Aufklärung dieses Gegenstandes wurden aber zunächst von Magnus **) Untersuchungen angestellt.

Derselbe schmolz ein Bündel unbesponnener Eisendrähte in einen Cylinder von leichtflüssigem, Rose'schen Metall ein, der dieselbe Länge hatte, wie die Drähte. Die Zuckungen, welche bei Anwendung dieses Cylinders in der Drahtspirale erhalten wurden, waren schwächer als die, welche ein einziger Eisenstab von demselben Gewichte als die Drähte hervorbrachte, während das gleiche Gewicht besponnener oder unbesponnener Drähte starke Zuckungen verursachte.

Hierauf verfertigte er einen Cylinder von leichtflüssigem Metall, von gleicher Länge mit dem früheren, in den ein Bündel unbesponnener Drähte, von demselben Gewichte als die in dem Cylinder eingeschmolzenen, hineingesteckt werden konnte. Als dieses Bündel, umgeben mit diesem Cylinder, angewendet wurde, wirkte es gleichfalls schwächer als ein gleiches Gewicht eines einzigen Eisenstabes von derselben Länge. Aber nicht nur durch die Umgebung mit diesem etwa $^1/_4$ Zoll dicken, metallenen Cylinder wurde die Wirkung der Drähte so bedeutend vermindert, sondern auch wenn man statt desselben eine dünne gezogene Messingröhre anwandte. Wurde aber die eine oder andere dieser Umhüllungen der Länge nach aufgeschlitzt, so trat die Wirkung der Drähte ganz auf dieselbe Weise wieder hervor, wie wenn gar keine Umhüllung vorhanden war.

*) Annals of Electricity, Magnet. and Chemistry. Lond. 1837. Vol. I. p. 481.
**) Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 95.

Durch die Resultate dieser Versuche ist nun die Erklärung der größeren Wirksamkeit der Drahtbündel nahe gelegt. Die schwachen Wirkungen der letzteren, wenn sie mit einer Hülle von einem nicht magnetischen Metalle umgeben werden, erklären sich zunächst daraus, daß der (beim Oeffnen der Kette) aus den Drähten verschwindende Magnetismus nicht inducirend auf die Drahtspirale, sondern auf die das Drahtbündel umschließende Metallhülle wirkt, so lange diese einen in sich geschlossenen Leiter bildet, also nicht aufgeschlitzt ist. Da beim Oeffnen des Schließungsdrahtes der galvanischen Kette in jedem benachbarten geschlossenen Leiter ein Strom erzeugt wird von gleicher Richtung wie der verschwindende, so entstehen auch in den Querschnitten einer massiven Eisenmasse (oder eines geschlossenen Cylinders von Eisenblech), die sich in einer Drahtrolle befindet, beim Oeffnen der Kette Ströme von gleicher Richtung, als der in der Spirale vorhandene. Jeder Querschnitt des Eisens bildet nämlich einen neben dem Schließungsdrahte befindlichen geschlossenen Leiter, auf den der Schließungsdraht inducirend wirken kann. Die inducirende Wirkung des Schließungsdrahtes auf die Drahtspirale fällt aber darum, weil sie sich auf mehrere benachbarte, geschlossene Leiter vertheilt, schwächer aus; dazu kommt noch, wie man meint, daß durch die beim Oeffnen der Kette in der Eisenmasse entstehenden Inductionsströme neuer Magnetismus erzeugt, und somit das Verschwinden des vorhandenen Magnetismus verzögert wird. Die inducirende Wirkung des verschwindenden Magnetismus auf die Drahtspirale muß deshalb vermindert werden. In einem Bündel von Eisendrähten dagegen, das nicht von einer metallischen Hülle umschlossen ist, können solche secundäre Ströme nicht aufkommen, da der Querschnitt eines derartigen Bündels keinen in sich geschlossenen Leiter bildet; und deshalb wird auch die aus diesen Strömen resultirende Schwächung der Induction in der Drahtspirale wegfallen.

Weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand hat Dove angestellt, der auch die durch Magnetisiren des Eisens vermittelst Reibungselektricität inducirten Ströme in Betracht zog *). Derselbe gelangte im Wesentlichen zu folgenden Resultaten.

Die inducirende Wirkung derselben Eisenmasse, als ununterbrochenes Continuum, ist im Allgemeinen sehr verschieden von der Wirkung derselben Eisenmasse, wenn sie in isolirte Drähte aufgelöst ist. Diese Verschiedenheit ist aber anderer Art, je nach der Weise, wie das Eisen magnetisirt wurde.

Bei dem Magnetisiren des Eisens durch Annähern an einen Stahlmagneten steigert sich durch Auflösen desselben in Drähte keine Wirkung des vom verschwindenden Magnetismus inducirten Stromes, auch wirkt ein von einer geschlossenen leitenden Hülle umgebenes Drahtbündel, wie ein offen daliegendes.

Bei dem Magnetisiren des Eisens durch den Schließungsdraht einer galvanischen oder Thermo-Kette bleibt, bei dem Auflösen des Eisens in Drahtbündel, zwar die galvanometrische Wirkung des Stromes, welchen der beim Oeffnen der Kette verschwindende Magnetismus erzeugt, dieselbe, so wie die Eigenschaft dieses Stromes, weiches Eisen zu magnetisiren; seine physiologischen Wirkungen, die bei seiner Unterbrechung erscheinenden Funken und der durch ihn im Stahl hervorgerufene Magnetismus sind aber viel kräftiger. Umgiebt man das Draht-

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 305; Bd. LVI. S. 268.

bündel mit einer leitenden Hülle, so verhält es sich wie eine massive Eisenmasse. Ist hingegen die Hülle der Länge nach aufgeschnitten, so wirkt es fast so kräftig wie ein offen liegendes.

Der Einfluß leitender Hüllen entsteht durch einen von dem Schließungsdrahte in denselben inducirten elektrischen Strom, der sich in ihnen nachweisen läßt, wenn man die Ränder der der Länge nach aufgeschnittenen Hüllen durch ein Galvanometer schließt. Aufgeschnittene Röhren mit unverbundenen Rändern sind eben so unwirksam als umhüllende Drahtspiralen mit unverbundenen Enden, oder aus einem zusammengelegten doppelten Draht gewickelte mit verbundenen Enden. Hingegen wirken eiserne Drahtbündel umgebende Spiralen mit verbundenen Enden, wie der Länge nach geschlossene Röhren, und beide desto kräftiger, je leitender die Substanz, aus der sie gebildet. Bei dem Magnetisiren der eisernen Drahtbündel durch Annähern an einen Magnet sind sie unwirksam, weil hier kein Schließungsdraht wie beim Elektromagnetisiren vorhanden ist, der in ihnen einen elektrischen Strom erregt. Bei massiven Eisenstäben wirkt die Oberfläche derselben wie die leitende Hülle, welche ein Drahtbündel einschließt.

Der in der leitenden Hülle erregte elektrische Strom scheint auf die von dem verschwindenden Magnetismus des Drahtbündels in Bewegung gesetzte Elektricitätsmenge keinen Einfluß zu haben, diese Bewegung selbst aber zu verzögern. Dadurch erklärt sich, daß der von einem Drahtbündel inducirte Strom bei galvanischer Gleichheit einen von massivem Eisen erregten in seiner physiologischen Wirkung übertrifft.

Wir heben hier noch besonders hervor, daß den Untersuchungen Dove's*) zufolge inducirte Ströme bei galvanometrischer Gleichheit ungleich physiologisch wirken können. Die Wirksamkeit eines elektrischen Stromes ist bedingt durch dessen Stärke und Geschwindigkeit; die magnetischen, chemischen, physiologischen und thermischen Wirkungen desselben hängen aber von diesen beiden Factoren nicht in gleicher Weise ab (s. Strom, elektrischer). In Bezug auf das Verhältniß des galvanometrischen Effectes eines Stromes zu seiner chemischen Wirkung läßt sich jedoch als erwiesen ansehen, daß für die auf galvanischem Wege und durch Induction erhaltenen elektrischen Ströme die Wasserzersetzung der durch den Multiplicator gemessenen Stärke der Ströme proportional sei. Von zwei galvanometrisch als gleich erkannten Strömen kann man daher gleiche chemische Wirkung erwarten.

Die Versuche Dove's zeigen, daß in dem Gebiete der Magnetelektricität sich ähnliche Unterschiede geltend machen, als die sind, welche die Erscheinungen der Reibungselektricität von denen des Galvanismus trennen.

Auch bei der Reibungselektricität zeigen sich Unterschiede der physiologischen und galvanometrischen Wirkungen, je nachdem dieselbe Elektricitätsmenge in längerer oder kürzerer Zeit einen Leiter durchströmt. Der den Körper heftig erschütternde Schlag einer Kleist'schen Flasche vermag nicht eine Magnetnadel abzulenken, er erlangt diese Eigenschaft erst dadurch, daß man durch Einschalten eines nassen Fadens in den Schließungsbogen dessen Leitungswiderstand vermehrt. Dabei vermindert sich die physiologische Wirkung in einer auffallenden Weise, während sich das blendend weiße Licht des Funkens in ein rothgelbes verwandelt. Eben so ver-

*) Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 72.

schwindet die Erschütterung vollkommen, wenn man die eine Belegung der Flasche in der Hand hält, der anderen aber mit einer Spitze sich allmälig nähert. Auch unter diesen Bedingungen der allmäligen Entladung durch eine genäherte Spitze tritt, wie Colladon zuerst nachgewiesen hat, eine Wirkung auf die Magnetnadel ein.

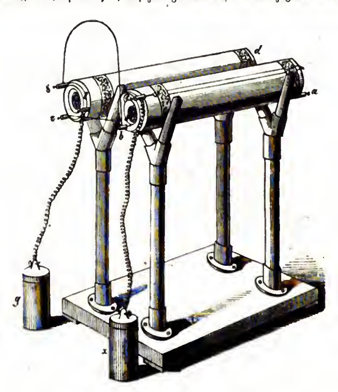
Aehnliche Bestimmungen wie für die physiologische Wirkung des Stromes scheinen auch für seine Eigenschaft, gehärteten Stahl zu magnetisiren, zu gelten; denn entladet man eine Kleist'sche Flasche allmälig durch eine Spitze, so ist der durch den Schließungsdraht in einer Stahlnadel hervorgebrachte Magnetismus entweder ganz unmerklich oder viel geringer als bei der gewöhnlichen Entladungsweise durch einen in eine Kugel endenden Auslader.

Wenn daher von zwei in demselben Leiter erregten Strömen, welche am Galvanometer dieselbe Ablenkung hervorbringen, der eine eine stärkere physiologische Wirkung und lebhaftere Funken zeigt als der andere, und zugleich Stahl stärker magnetisirt, so wird man annehmen dürfen, daß in dem ersteren eine gleiche Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit bewegt werde als in dem letzteren, und umgekehrt bei gleicher physiologischer und magnetisirender Wirkung zweier Ströme wird der von geringerem galvanometrischen Effect eine im Verhältniß seiner verminderten Stärke größere Geschwindigkeit haben.

Dove *) benutzte zu seinen Untersuchungen über die durch Reibungselectricität inducirten Ströme eine Vorrichtung unter dem Namen Differential-Inductor, welche geeignet ist, die Differenz zweier Inductionsströme zu ermitteln. Auf zwei starke cylindrische Glasröhren von 1 Fuß Länge und 1 Zoll Weite sind zwei Spiralen von Kupferdraht in gleichem Sinne gewickelt und ganz in Schellack eingelassen, welches auswendig mit Papier überzogen ist. Jede der Spiralen bildet bei 32 Fuß Drahtlänge 80 Windungen. Von den Drahtklemmen, in welche diese Spiralen enden, wird a (s. umstehende Figur) mit der inneren, d mit der äußeren Belegung der isolirten Batterie verbunden, nachdem diese vermittelst einer selbstentladenden Flasche eine constante Ladung erhalten hat. Da die Klemmen b und c durch einen Querdraht verbunden sind, so bilden die beiden Spiralen ab und cd zusammen den Schließungsdraht der Batterie. Die darauf zu schiebenden, in gleichem Sinne als die inneren gewickelten Inductionsspiralen sind auf Röhren von Pappe in Schellack eingelassen, und haben bei 80 Windungen jede eine Drahtlänge von 45 Fuß. Die Dicke des Drahtes dieser Spiralen ist dieselbe als die des Drahtes der Schließungsspiralen, nämlich eine halbe Linie. Die beiden Enden jeder Nebenspirale befinden sich auf derselben Seite (der Vorderseite der Figur), es läuft daher das umgebogene längere Ende jeder Spirale (β, γ) in einer Glasröhre neben der äußeren Papierbekleidung hin, und ist daran durch zwei seidene Bänder vermittelst darunter gelegter Korkstückchen befestigt. Von den 4 Enden dieser Spiralen sind zwei α und γ durch einen Querdraht verbunden, während die anderen, β und δ, entweder, wie es die Figur zeigt, in Handhaben enden, oder durch eine, eine unmagnetische Stahlnadel enthaltende Spirale, durch ein Galvanometer, einen Elektromagneten, einen Zersetzungsapparat, ein elektrisches Luftthermometer oder ein Breguet'sches Metall-

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 305 ff.

thermometer, ein isolirtes Froschpräparat, einen Condensator oder eine Spitzenvorrichtung mit isolirter Zwischenscheibe von Harz zur Darstellung von Harzfiguren verbunden sind. Jede Schließungsspirale, a b und c d, liegt mit ihrer einhüllenden Nebenspirale, $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$, auf zwei gut mit Schellack überzogenen Glasfüßen



von $^3/_4$ Zoll Durchmesser, welche in einer Höhe von $8^1/_2$ Zoll sich gabelförmig öffnen in zwei Glasstangen, die bei einer Länge von 3 Zoll oben $1^1/_2$ Zoll von einander abstehen, und an den lothrechten Stangen durch Messinghülsen festgekittet sind. In die inneren Cylinder werden die zu vergleichenden metallenen Cylinder und Drahtbündel hineingelegt, wie es die Figur zeigt, in welcher die Spirale c d einen massiven Cylinder, die Spirale a b ein in eine Metallhülle eingeschlossenes Drahtbündel enthält. Dieser Apparat läßt sich eben so für galvanische und Thermo-Elektricität als für Reibungselektricität benutzen; doch ist es für galvanische Ströme, zur Erzielung starker Wirkungen, vorzuziehen, dem Schließungsdrahte größere Dicke, dem Nebendrahte hingegen mehr Windungen zu geben, wobei es nicht nöthig ist auf die Isolation eine so große Sorgfalt zu verwenden, als bei Reibungselektricität erfordert wird.

Entladet man die Batterie durch die inneren Spiralen, so erhält man von den gleichartig verbundenen Nebenspiralen den Schlag des mit dem primären

Strome gleichgerichteten inducirten Stromes. Diese Erschütterung wird verändert, wenn in die vorher leeren Röhren metallische Substanzen gelegt werden. Bei kreuzweiser Verbindung der Nebenspiralen findet für alle hier anwendbaren Prüfungsmittel Stromgleichgewicht statt, welches durch Einführung eines Metalls in eine der compensirten Spiralen sogleich aufgehoben wird. Der dann hervortretende Strom wirkt nicht ablenkend auf die Magnetnadel, da selbst bei der sorgfältigsten Isolirung der Windungen Funken zwischen denselben überspringen. Seine Richtung wurde deshalb durch das von Rieß angegebene Verfahren mittelst Harzfiguren und des Condensators geprüft.

Die schon angeführten Unterschiede zwischen eisernen Stäben und eisernen Drahtbündeln erreichen nun nach Dove ihr Extrem, wenn das Magnetisiren derselben durch den Entladungsschlag einer Leydner Flasche geschieht. Eine Drahtspirale mit Eisenkern inducirt nämlich einen in allen seinen Wirkungen stärkeren Strom in einer sie umgebenden Nebenspirale, als die leere Drahtspirale ohne Eisenkern, wenn der galvanische Strom, welcher dieses Eisen magnetisirte, aufhört. Die Verstärkung der physiologischen Wirkung durch Auflösen dieses Eisenkerns in Drähte ist daher eine Steigerung einer bereits von dem massiven Eisen auch ausgeübten Wirkung. Die inducirende Wirkung der von dem momentanen Strome einer sich entladenden Leydner Flasche durchflossenen leeren Spirale ist hingegen, was die physiologischen und elektroskopischen Wirkungen des Nebenstromes betrifft, größer, als wenn ein massiver Eisenkern in derselben enthalten ist, hingegen kleiner, als die, welche ein darin befindliches eisernes Drahtbündel hervorbringt. Umgiebt man das Drahtbündel mit einer geschlossenen Hülle, so wirkt das vorher verstärkende Bündel nur wie ein massiver Stab, d. h. schwächend. Der thermische Effect des Nebenstromes wird hingegen, sowohl durch massives Eisen als durch Drahtbündel geschwächt, die Eigenschaft, Stahl zu magnetisiren, aber verstärkt.

Der physiologische Effect des durch Reibungselektricität inducirten Stromes wird geschwächt durch hineingelegte massive Metallstücke, und verstärkt durch freiliegende Bündel von gefirnißten Drähten, nicht allein wenn letztere aus Eisen bestehen, sondern auch bei solchen aus Messing, Kupfer, Zinn, Antimon und sogar bei Quecksilber in versiegelten Glasröhren. In Bezug auf die Erklärung dieser Erscheinungen stellt Dove *) noch folgende Betrachtungen an.

„Der in einem das Eisen spiralförmig umgebenden Drahte wirksame elektrische primäre Strom erzeugt in dem Momente, wo er entsteht, in dem Eisen elektrische Ströme, während seiner Dauer magnetische Polarität, die sich langsamer steigert als jener Strom, im Moment seines Aufhörens wieder einen elektrischen Strom. Der bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugte zweite mit dem primären gleichgerichtete elektrische Strom wirkt dem durch den verschwindenden Magnetismus erzeugten entgegen. Hatte, wie es bei galvanischem Magnetisiren der Fall ist, der Magnetismus während der längeren Dauer des Stromes Zeit, sich zu entwickeln, so überwiegt die Wirkung desselben die entgegengesetzte des bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugten elektrischen. Alle gegen die Bildung elektrischer Ströme angewendeten Mittel steigern daher nur eine von massivem Eisen bereits

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 305. 324.

auch ausgeübte Wirkung. Ist hingegen der primäre Strom so schnell vorübergehend wie der einer sich entladenden elektrischen Batterie, hat also der Magnetismus nicht Zeit, sich vollständig zu entwickeln, so überwiegt der bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugte elektrische die Wirkung des verschwindenden Magnetismus. Das Zerstören dieser elektrischen Ströme durch Auflösen der Masse in Drähte oder die Hemmung ihrer Bildung in einer schlecht leitenden Masse, wie bei dem Nickel, kehrt daher hier die Wirkung vollständig um, indem es den Ausschlag auf Seiten des verschwindenden Magnetismus bringt. Die Gleichgewichtsgrenze beider ist aber für die thermischen, physiologischen und magnetisirenden Wirkungen nicht dieselbe, weil nämlich die Abhängigkeit derselben von der Intensität des verschwindenden Magnetismus eine andere sein wird, als ihre Veränderung durch den entgegenwirkenden elektrischen Strom; für die magnetisirenden Wirkungen waltet daher noch die Wirkung des verschwindenden Magnetismus vor, wenn für die thermischen der erzeugte elektrische Strom überwiegt, und die physiologischen Erscheinungen auf beide Seiten dieser Grenze fallen."

Dove*) vermuthet nun, daß die sogenannten unmagnetischen Metalle in Beziehung auf die Eigenschaft des Stromes, Stahl zu magnetisiren, sich so verhalten wie Eisen für die elektroskopischen und physiologischen Eigenschaften desselben, d. h. daß sie unmagnetisch scheinen, weil die mit dem Magnetisiren gleichzeitig erregten elektrischen Ströme die Wirkung der magnetischen Polarität verdecken, daß sie es aber in der That nicht sind. Um die letztere hervortreten zu lassen, kommt es nach Dove nur darauf an, die Bildung der elektrischen Ströme zu verhindern, d. h. sie ebenfalls in Drähte aufzulösen und dann die Richtung des inducirten Stromes durch Magnetisiren einer Stahlnadel zu prüfen. Hierzu läßt sich der Differential-Inductor verwenden. Die magnetische Polarität eines Drahtbündels inducirt nämlich bei ihrem Verschwinden in einem Nebendrahte einen elektrischen Strom, der sich stets durch Magnetisiren einer Stahlnadel nachweisen läßt. Die Polarität dieser Stahlnadel bleibt immer dieselbe, wenn ein magnetisirbares Metall in eine der vorher compensirten Spiralen des Differentialinductors gelegt wird, aber sie ist schwächer, wenn das magnetisirbare Metall ein massiver Stab oder eine Scheibensäule, als wenn es ein Bündel isolirter Drähte ist. In diesem Falle wird sie nämlich von einem von der leeren Spirale ausgehenden Strome bestimmt. Geht also der Strom von der mit dem Drahtbündel irgend eines Metalls gefüllten Spirale aus, so ist das Metall magnetisch, geht er hingegen von der leeren aus, ein unmagnetisches. Bei den elektroskopischen und physiologischen Erscheinungen des vom elektromagnetisirten Eisen und Nickel inducirten Stromes stellte sich die auffallende Thatsache heraus, daß der schwächere magnetische Nickel stärker wirkt als das stärker magnetische Eisen, weil in jenem schlechter leitenden Metall die verzögernden elektrischen Ströme sich nicht so gut bilden können, als in dem besser leitenden Eisen, d. h. in Beziehung auf elektroskopische und physiologische Prüfung verhält sich das massive Eisen wie ein unmagnetisches Metall, während es für das Magnetisiren der Nähnadel noch als magnetisches wirkt. Löst man es aber in isolirte Drähte auf, d. h. verhindert man die Bildung verzögernder elektrischer Ströme, so wirkt es auch in dieser Beziehung als magnetisches Metall.

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 325. 330.

Wenn man die Enden einer einfachen galvanischen Kette, etwa eines constanten elektrischen Paares, durch einen kurzen Draht mit einander verbindet, so erhält man weder beim Schließen noch beim Oeffnen der Kette einen merklichen Funken oder Schlag. Merklicher schon wird Funke und physiologische Wirkung, wenn man einen sehr langen Schließungsdraht nimmt, dessen Enden man beim Oeffnen der Kette mit den Händen faßt. Die Intensität dieser Wirkung wird noch erhöht, wenn man den langen Schließungsdraht zu einer Spirale aufwindet, eine abermalige Verstärkung tritt ein, wenn man in die Spirale oder Drahtrolle einen Stab aus weichem Eisen geschoben hat. Die auf solche Weise gesteigerte Wirkung zeigt sich jedoch nur beim Oeffnen, nicht aber beim Schließen der Kette. Faraday *) hat hierüber zuerst genauere Untersuchungen angestellt und gezeigt, daß die Erscheinung ihre Ursache in einer Induction hat, welche der primäre Strom des Schließungsdrahtes auf den letzteren selbst ausübt. Wie ein Strom, während er verschwindet, einen Strom von gleicher Richtung in jeder benachbarten Metallmasse erzeugt, so entsteht auch ein solcher Strom in dem Schließungsdrahte der Kette selbst, und durch diesen wird, da er gleiche Richtung mit dem ursprünglichen hat, die Wirkung des letzteren verstärkt. Ist der Schließungsdraht zu einer Spirale gewunden, so entsteht bei der Unterbrechung des Stromes nicht nur durch Induction eine Verstärkung desselben, wie bei dem geraden Drahte, sondern es wird auch noch mit dem Verschwinden des elektrischen Stromes aus jeder einzelnen Windung ein Strom in der benachbarten Windung inducirt, und dadurch die Wirkung gesteigert. Befindet sich endlich in der Drahtrolle ein Stab aus weichem Eisen, so erlangt dadurch der inducirte Strom eine neue Verstärkung, weil das Eisen durch den umlaufenden Strom magnetische Polarität annimmt, deren Aufhören bei der Unterbrechung des Hauptstromes im Schließungsdrahte einen Strom veranlaßt, welcher gleiche Richtung mit dem inducirten hat. Beim Schließen der Kette hat aber der Inductionsstrom eine dem Hauptstrome entgegengesetzte Richtung, weshalb die Wirkung in diesem Falle unmerklich ist.

Es gelten nun für diesen in dem Schließungsdraht der Kette auftretenden Inductionsstrom im Ganzen dieselben Gesetze, welche wir bereits in Hinsicht auf den in einer Nebenspirale inducirten Strom kennen gelernt haben. Auch bei ihm wird die Wirkung, und zwar aus denselben Gründen erhöht, wenn man in die schließende Drahtrolle statt des massiven Eisenstabes ein Bündel isolirter Eisendrähte bringt. Man nennt den Inductionsstrom des Schließungsdrahtes den Extrastrom (Extra current) oder Gegenstrom (Contre current), wohl auch inducirten Strom zweiter Ordnung. Moser **) nannte ihn den succedirenden Strom. Die Vergrößerung des Funkens durch längere, um ein Eisen gewickelte Drähte hatte Dove ***) schon früher gefunden, und Nobili ****) hatte noch früher die Vergrößerung durch die bloße Verlängerung des Schließungsdrahtes wahrgenommen.

*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. V. No. 29. p. 349. Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 292, Bd. XXXV S. 413.

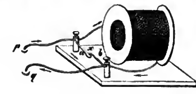
**) Dove u. Moser Repert. Bd. I. S. 328; vergl. auch Jacobi in Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 132.

***) Pogg. Ann. Bd. XXIX. S. 463.

****) Antol. di Firenze. No. 136. Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 456.

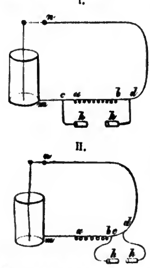
Magnus *) gebrauchte zu Versuchen über den Extrastrom eine einfache Kette, welche aus einer spiralförmig gewundenen Zink- und Kupferplatte, jede von 1 Quadratfuß Oberfläche, in Schwefelsäure bestand. Der mit Seide übersponnene Schließungsdraht war um die Schenkel eines Hufeisens (mit kreisförmigem Querschnitt) gewickelt, jedoch nicht unmittelbar, sondern über zwei Messinghülsen, von denen jede auf einen Schenkel des Hufeisens gesteckt werden konnte. Diese Drahtspiralen waren gewöhnlich so mit einander verbunden, daß das Eisen zwei ungleichnamige Pole an seinen beiden Enden erhielt. An den Stellen, wo die Drahtenden des Elektromagnets in die an der Kupfer- und Zinkplatte befestigten Quecksilbernäpfchen tauchten, waren messingene Handhaben von Cylinderform angebracht. Wenn man diese Handhaben in den befeuchteten Händen hielt und durch Ausheben des einen Drahtendes aus dem Quecksilber die Leitung unterbrach, so bekam man Zuckungen, die am schwächsten erschienen, wenn die Pole des Elektromagnets durch einen Anker verbunden waren, am stärksten hingegen, wenn das Hufeisen ohne Anker in den Spiralen lag. In jenem Falle wurde der Anker mit entgegengesetzten Polen selbst magnetisch, und dadurch die Wirkung des Elektromagnets und seine inducirende Wirkung auf die Drahtspirale aufgehoben, so daß nur derjenige Strom wirken konnte, welchen der Leitungsdraht durch Induction auf sich selbst erregte. Als die Schließungsspiralen allein ohne das Eisen angewendet wurden, waren die Zuckungen ungleich stärker, welche bei eingebrachtem Eisen mit angelegtem Anker erfolgten, woraus, wie Magnus bemerkt, hervorgeht, daß die Wirkung des Ankers nicht allein darin besteht, daß derselbe die Induction des Eisens aufhebt, sondern daß derselbe noch eine andere Wirkung ausübt, welche der Induction des Drahtes auf sich selbst entgegenwirkt. Wurde die Leitung, während der spiralförmige Schließungsdraht um das Eisen mit vorgelegtem Anker befestigt war, unterbrochen, so blieb der Anker am Eisen haften, und es blieb also das letztere magnetisch. Wurden nun (bei geöffneter Kette) die Handhaben in den befeuchteten Händen gehalten, und dadurch eine leitende Verbindung zwischen den Enden des Drahtes mittelst des Körpers hergestellt, und alsdann der Anker abgerissen, so erhielt man eine Zuckung stärker oder schwächer, je nachdem der Anker plötzlich abgerissen oder abgeschoben wurde. Diese Zuckungen sind nur eine Wirkung der Induction des Eisens auf den Draht. So lange der Anker an dem Eisen haftet, hebt er die inducirende Wirkung desselben auf. Werden aber beide getrennt, so verschwindet der Magnetismus, und es entsteht ein Strom in dem Drahte.

Faraday hat die Wirkung des Extrastromes auf folgende Art nachzuweisen gesucht. Um eine Spule von Holz ist ein etwa 400 Fuß langer und $^1/_2$ Linie dicker Kupferdraht aufgewunden, dessen Enden in die Quecksilbernäpfchen p und q tauchen, welche mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung gesetzt werden. Außerdem sieht man noch zwei Querdrähte a und b, welche an den langen Draht gelöthet sind. Der Strom geht nun in der Richtung der Pfeile theils durch die Drahtspirale, theils auch



*) Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 417.

durch die Drähte a, b nach q. Da der größere Theil des Stromes durch die letzterwähnten Drähte geht, falls sie sich berühren, so entsteht nur ein schwacher Funke, wenn man die Kette etwa bei q öffnet. Werden aber die Drähte a, b bei x ein wenig von einander getrennt, so giebt sich der beim Oeffnen der Kette in der Spirale erzeugte Extrastrom als ein Funke zu erkennen, der von b nach a überspringt. Diese Richtung zeigt ein eingeschalteter Multiplicator oder auch ein mit Jodkalium befeuchtetes Papierblättchen, das bei x zwischen die Drähte a und b gelegt wird. Das Jod tritt bei b, das Kalium bei a aus. Befestigt man an die Enden der Drähte Handhaben, welche man mit befeuchteten Händen anfaßt, so erhält man beim Oeffnen der Kette einen kräftigen Schlag.



Eine Induction des Schließungsdrahtes auf sich selbst hat Dove *) auch bei der Entladung einer Leydner Flasche dargethan. Bezeichnet nämlich m n (Fig. I.) den Schließungsdraht der Flasche und a b den spiralförmig gekrümmten Theil desselben, c h h d eine Nebenschließung, die bei den Handhaben h h durch den Körper vollzogen wird, so erhält man in dem Moment, wo der Funken bei n überspringt, eine Erschütterung, nicht aber, wenn die Nebenschließung, wie in Fig. II. angebracht ist, auch wenn die zwischen h und h enthaltene Drahtlänge in beiden Fällen dieselbe ist. Im ersteren Falle ist der spiralförmige Theil des Schließungsdrahtes durch den h und h verbindenden Körper geschlossen, im letzteren aber nicht. Rührte die Erschütterung von einer Theilung des Stromes her, so müßte sie in beiden Fällen eintreten. Da dies nicht der Fall ist, so ist sie die Wirkung einer wahrhaften Induction. Die Verstärkung des Schlages durch ein Bündel von Eisendrähten ist sehr deutlich. Ueberhaupt zeigte sich diese Induction vollkommen identisch mit der früher betrachteten in getrennten Drähten.

Faraday vermuthete, daß wie beim Oeffnen eines Elektromotors, so auch beim Schließen desselben entsprechende Effecte durch eine Spirale und einen Elektromagneten im Schließungsbogen entstehen müssen. Diese Effecte werden im ersten Moment einen Widerstand erzeugen, also etwas dem Schlage und Funken Entgegengesetztes bewirken. Für die Nachweisung solcher Effecte hat nun Dove **) eine bequeme Vorrichtung angegeben. Nach ihm läßt sich ein elektrischer Strom, der entsteht oder dessen Intensität zunimmt, in jedem Augenblicke als aus zwei Theilen bestehend betrachten, aus einem unverändert bleibenden Antheil und einem neu hinzukommenden, und ein Strom, dessen Intensität abnimmt, aus einem unverändert bleibenden und einem verschwindenden Antheil. Alsdann könne man das Inductionsgesetz, nach welchem ein primärer Strom bei seinem Beginne einen

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 322.
**) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 251.

entgegengesetzt fließenden inducirt, bei seinem Aufhören einen ihm gleich gerichteten, allgemeiner so ausdrücken: ein primärer Strom inducirt, so lange sich seine Intensität steigert, einen entgegengesetzten, so lange sie abnimmt, einen gleichgerichteten secundären Strom. Nennt man nun Nebenstrom den von einem primären Strome in einem ihm parallelen, aber von ihm getrennten Drahte inducirten Strom, Gegenstrom (Extracurrent) hingegen den in einem spiralförmigen Schließungsdrahte mit oder ohne Eisenkern durch Wirkung jeder einzelnen Windung auf die zunächst liegenden hervortretenden secundären, sieht man also diesen Gegenstrom als einen speciellen Fall des Nebenstromes an, bei welchem nämlich ein und derselbe Draht den Weg abgiebt für den primären Strom und den inducirten, so werden die für den Nebenstrom gefundenen Erscheinungen auch in Beziehung auf den Gegenstrom als wahrscheinlich vorausgesetzt werden können.

Den primären Strom erzeugte Dove durch eine Saxton'sche von Oertling construirte magnetoelektrische Maschine (s. weiter unten), bei welcher die Unterbrechung durch Messingfedern geschieht, welche auf zwei, mit hölzernen Einsatzstücken versehenen eisernen Walzen schleifen. Hinsichtlich der näheren Einrichtung dieser Maschine verweisen wir auf die citirte Abhandlung selbst, und heben hier nur diejenige Vorrichtung heraus, deren Kenntniß zur Einsicht in die vorliegenden Erscheinungen wesentlich ist. In der nebenstehenden Figur bezeichnet a den umwickelten rotirenden Anker, durch dessen vorübergehenden Magnetismus elektrische Ströme in der Drahtumwickelung inducirt werden. s ist eine Extraspirale, u die Unterbrechung vermittelst einer intermittirenden Feder, welche hier eben die metallische Oberfläche verläßt und auf den Holzeinsatz übergeht; I, II, III bezeichnen die Zuleitungsdrähte zum Strommesser. Diese letzteren gestatten drei verschiedene Verbindungen, nämlich I und II, I und III, II und III. Bei der ersten ist Anker und Extraspirale in der Verbindung, bei der zweiten nur der Anker, bei der letzten nur die Spirale. Während der Rotation des Ankers von 0° bis 90° ist der umhüllende Draht desselben vollkommen metallisch geschlossen, und die sich in ihm steigernde Intensität des primären Stromes entwickelt in der Spirale s einen entgegengesetzt fließenden Extrastrom, der die Wirkung des primären demnach schwächt. Im Moment der Unterbrechung bei u hört der primäre Strom in a auf und es entwickelt sich dann, wenn nämlich die Spirale s ein in sich zurücklaufendes Ganze bildet, in derselben ein, mit dem primären gleichgerichteter Extrastrom, der die Wirkung des primären verstärkt. Soll die Bildung dieses zweiten mit dem primären gleichgerichteten Extrastromes (Gegenstromes) vermieden werden, so muß im Moment der Oeffnung bei u die Extraspirale aus der schließenden Verbindung heraustreten. Dies geschieht, wenn I mit III verbunden wird. Schließt man hingegen I mit II, so erhält man den primären Strom vermindert durch den Einfluß des entgegengesetzt fließenden von 0° bis 90° sich bildenden Anfangsgegenstromes, und vermehrt durch die Wirkung des bei der Oeffnung bei u sich bildenden mit dem primären gleichgerichteten Endgegenstromes. In welchem Sinne hier die Endwirkung geschehe, kann beurtheilt werden, wenn man statt der Spirale s eine, gleichen Leitungswiderstand darbietende, aber keine Spirale bildende Drahtlänge



einschaltet. Die Schließung durch I und II giebt dann die Wirkung des primären Stromes allein. Schießt man endlich II und III, so erhält man, wenn s geradlinig ausgespannt, gar keine Wirkung, hingegen, wenn s eine Spirale, einen mit dem primären gleich gerichteten Strom, d. h. die Wirkung des Endgegenstromes allein. Bezeichnet man daher mit p den primären Strom, mit A den Anfangsgegenstrom, mit E den Endgegenstrom, so erhält man bei I und II: p — A + E, bei I und III: p — A, bei II und III: E. Aus Versuchen mit diesem Apparate ging hervor, daß der Extrastrom zu Anfang in seinen negativen Wirkungen durch dieselben Mittel gesteigert wird als der Extrastrom am Ende in seinen positiven, und daß in beiden Fällen Drahtbündel stärker physiologisch wirken als massive Eisenmassen.

Nach Messungen von Edlund *) sind die beim Oeffnen und Schließen der galvanischen Kette entstehenden Inductionsströme gleich groß, wenn die inducirende Stromstärke in beiden Fällen dieselbe ist.

Um eine rasche Folge von Inductionsströmen auf eine bequeme Weise hervorbringen zu können, hat man besondere Apparate, die man Inductionsmaschinen nennt. Man unterscheidet zwei Arten derselben, je nachdem die Induction durch das Entstehen und Verschwinden des Magnetismus oder unter Mitwirkung eines galvanischen Stromes vollführt wird. Solche Apparate nun, bei denen ein Stahlmagnet thätig ist, nennt man gewöhnlich magnetoelektrische Maschinen. Die erste Maschine dieser Art wurde von Pixii (und fast gleichzeitig von Ritchie) construirt **), welcher dann durch Saxton ***), Clarke ****), v. Ettingshausen, Petrina *****), Stöhrer rc. mancherlei Verbesserungen zu Theil wurden.

Man denke sich vor den Polen eines hufeisenförmigen Stahlmagnets zwei Stäbe aus weichem Eisen oder die Schenkel eines Hufeisens, die von einem Drahte spiralförmig umwickelt sind (vergl. Fig. I. auf S. 18). Dreht man nun das Hufeisen um eine zwischen seinen Schenkeln liegende und mit diesen parallel laufende Axe, so nehmen die Schenkel eine wachsende magnetische Polarität an, wenn sie sich den Polen des Magnets nähern, und es entsteht dann in der Spirale ein elektrischer Strom. Mit der Entfernung der Schenkel von den Polen nimmt aber die Intensität dieser magnetischen Polarität wieder ab, und es wird, wenn die Drehung bis zu 90° fortgeschritten ist (wo die Verbindungslinie der Schenkel die Verbindungslinie der Pole winkelrecht durchschneidet), mit dem Verschwinden des Magnetismus in den Schenkeln des Hufeisens ein dem vorigen entgegengesetzter Strom in der Spirale inducirt. Bei der weiteren Drehung bis zu 180° nehmen die Schenkel die entgegengesetzte Polarität an, welche einen Strom inducirt, der mit dem durch das Verschwinden der vorigen Polarität entstandenen Strome gleiche Richtung hat. Das Verschwinden der einen Polarität und das Entstehen der entgegengesetzten hat nämlich hier denselben Einfluß auf die Drahtumwickelung, als wenn man einen in einer geschlossenen Drahtspirale liegenden Magnetstab herauszieht und dann mit dem entgegengesetzten Pole wieder hineinschiebt. Durch

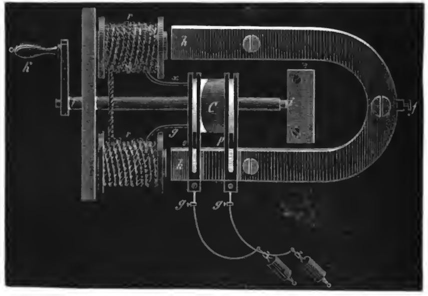
*) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 161.
**) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S 390 u. 398.
***) London and Edinbg. Phil. Mag. No. LV. p. 360. Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 401.
****) Lond. and Edinbg. Phil. Mag. No. LIV. p. 262.
*****) Magnetoelektrische Maschine von der vortheilhaftesten Einrichtung. Linz 1844.

beide Manipulationen wird in der Spirale ein Strom von gleicher Richtung inducirt. Setzt man die Drehung des Hufeisens über 180° hinaus fort, so wiederholen sich die eben beschriebenen Vorgänge, jedoch mit dem Unterschiede, daß die inducirten Ströme die entgegengesetzte Richtung der vorigen haben. So folgen von einer halben Umdrehung zur anderen entgegengesetzte Ströme auf einander, und man erkennt, daß man die Anzahl dieser Ströme in einer gegebenen Zeit durch Beschleunigung der Rotation sehr vermehren kann. Sind die Enden a und b der Drahtumwickelung (Fig. I. S. 18) durch eine Leitung mit einander verbunden, so wird also ein elektrischer Strom bald von a nach b, bald von b nach a hindurchgehen. Bei einer magnetoelektrischen Maschine ist nun zwischen a und b eine Vorrichtung angebracht, welche bewirkt, daß in einer damit verbundenen Leitung c d den auf einander folgenden entgegengesetzten Strömen einerlei Richtung ertheilt wird. Dies geschieht so, daß wenn der Strom von a nach b geht, a mit c und b mit d in Verbindung steht, während bei der umgekehrten Stromesrichtung (von b nach a) b mit c und a mit d verbunden ist. In der Leitung c d ist dann gewiß ein Strom vorhanden, der immer dieselbe Richtung behauptet. Eine solche Vorrichtung nennt man Commutator.

I.

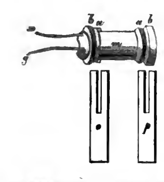
c ———— d

Die nachstehende Fig. II. zeigt eine kleinere magnetoelektrische Maschine von Stöhrer, wie sie häufig zu medicinischen Zwecken benutzt wird. Vor den Polen



des Hufeisenmagnets h h sieht man die Inductionsrollen r, r, in deren Innerem sich Kerne aus weichem Eisen befinden. Dieser Magnet ist aus 5 Stahllamellen zusammengesetzt, die an der Vorderseite eben abgeschliffen sind, und von denen jede etwa 5 Millimeter dick ist. Die Inductionsrollen können vermittelst der Kur-

bei k um die Axe oder Welle i i gedreht werden. Eine Schraube f, welche mit dem Magneten in Verbindung steht, dient dazu, um die Pole desselben (der größeren oder geringeren Wirkung wegen) den Inductionsrollen nach Belieben nähern oder davon entfernen zu können. Die einen Drahtenden beider Inductionsrollen sind durch einen Querdraht mit einander verbunden, während die beiden anderen Enden zu dem Commutator c führen, der folgendermaßen eingerichtet ist. An den beiden Enden eines Messingrohres m sind zwei Stahlringe a, a so aufgelöthet, daß sie einander genau gegenüberliegen, und die Enden derselben etwas überragen. Innerhalb des Rohres m, von demselben durch ein dünnes Buchsbaumrohr getrennt, befindet sich ein zweites Messingrohr, welches an beiden Seiten etwas hervorragt. Die Vorsprünge tragen zwei mit dem Rohre aus einem Stücke gedrehte Scheiben von gleichem Durchmesser mit dem äußeren Rohre m. Auf diese Scheiben sind ebenfalls zwei den ersteren a, a ganz gleiche Stahlringe b, b gelöthet, so daß sie jenen correspondiren. Dieses System wird im Innern mit Siegellack verkittet und dadurch in allen seinen Theilen befestigt, auf die vorn dünner zulaufende Welle geschoben. Durch ein Schräubchen kann der Commutator in jeder Stellung auf der Welle i i (Hauptfigur) befestigt werden. Die von

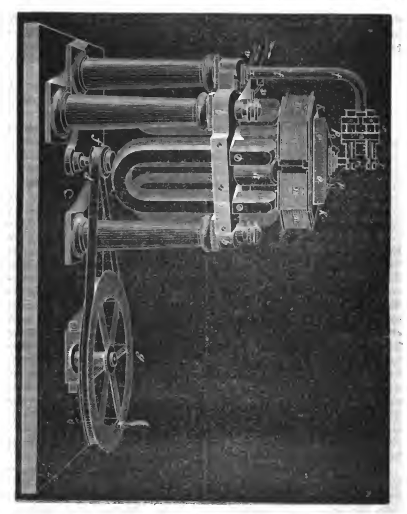


den Inductionsrollen auslaufenden Drahtenden stehen mit den Drähten x und y in Verbindung, von denen x zur inneren Hülse und den an beiden Enden befindlichen Stahlringen, y zu dem äußeren Rohre und den auf demselben angebrachten Stahlringen führt. Zwei flache dünne Stahlfedern o, p sind auf dem Gestelle der Maschine so angebracht, daß ihre vorderen geschlitzten Enden die Stahlringe von oben leicht berühren; sie können nach Belieben mittelst einer Schraube mehr oder weniger gespannt werden. In dem Augenblicke, wo der eine Schenkel der Feder den entsprechenden Ring verläßt, entsteht ein Funke; derselbe Schenkel steht dann frei, während der andere den unter ihm liegenden Ring schon berührt hat, bei dessen Ende ein zweiter Funke entsteht. In demselben Augenblick berührt der erste Schenkel schon den ihm zugehörigen Ring von Neuem 2c. Auf diese Weise wird von einer halben Umdrehung zur anderen abwechselnd das äußere und innere Messingrohr mit jeder Stahlfeder in Berührung gebracht und dadurch die entsprechende Umkehrung des Stromes bewirkt. Mit den Stahlfedern sind die Klemmschrauben g, g′ leitend verbunden, in welche Metalldrähte mit metallenen Handhaben befestigt werden können.

Das Maximum der Stromstärke tritt gewöhnlich ein, wenn die Linie, welche die Axen der beiden Inductionsrollen mit einander verbindet, senkrecht zur Verbindungslinie der beiden Magnetpole steht. Die Beschaffenheit der Inductionsrollen läßt sich aber, in Hinsicht auf die besondere Wirkung, welche durch die Maschine erzielt werden soll, im Allgemeinen nach den S. 22 ff. aufgestellten Gesetzen beurtheilen. Wenn nämlich außerhalb der Drahtrollen ein bedeutender Leitungswiderstand zu überwinden ist, was stattfindet, wenn der Strom durch den menschlichen Körper oder durch Flüssigkeiten gehen muß, so nimmt man viele Win-

bungen eines dünnen Drahtes. Dagegen ist eine geringere Anzahl Windungen eines dickeren Drahtes, unter Anwendung eines starken Magnetes, dem Zwecke entsprechender, wenn der äußere Widerstand gering ist.

Nachstehend ist eine größere zusammengesetzte magnetoelektrische Maschine von Stöhrer *) abgebildet, die zu den meisten Versuchen, zu welchen man sonst



eine Elektrisirmaschine oder galvanische Kette anwendet, benutzt werden kann. Drei Magnete wirken hier zu gleicher Zeit auf sechs Inductoren, da mehrere kleinere

*) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 417. 426.

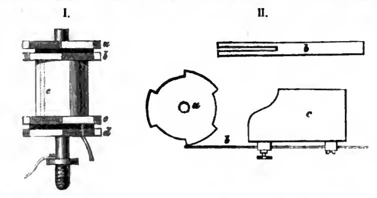
Magnete verhältnißmäßig eine weit stärkere Wirksamkeit haben als ein großer von gleichem Gewichte. Jeder der drei hufeisenförmigen Magnete besteht aus 6 Lamellen. Die Polflächen dieser vertical stehenden Magnete bilden runde Scheiben, die bei allen gleich groß sein und deren Mittelpunkte alle in der Peripherie eines Kreises liegen müssen. Die in beistehender Figur von oben gesehenen Polflächen a a', b b', c c' liegen in einem Kreise in einer Ebene, und sind alle unter einander gleich weit entfernt. Alle drei Magnete sind in dem Mittelpunkt ihres nach unten gekehrten Bogens in einem messingenen Kreuze befestigt, welches zwischen drei starken hölzernen Säulen vermittelst einer Schraube sich auf und nieder stellen läßt. Mit ihren Schenkeln gehen die Magnete durch ein starkes Brett b b b (S. 38) hindurch, dessen Ansicht im Viertel der Größe nebenstehende Fig. vorstellt. Die in der Hauptfigur etwas sichtbare, starke eiserne Welle läuft mit ihrem unteren stählernen Zapfen in dem stählernen Lager d, und trägt ein wenig höher die Riemenscheibe f, von welcher der Riemen auf das horizontale Schwungrad g läuft. Das obere Lager der Welle ist in dem hölzernen Aufsatz h befindlich. Das oben über das Lager hinausragende Ende der Welle trägt ein starkes Messingkreuz, auf welchem der eiserne Ring k k concentrisch mit der Welle aufgeschraubt ist. An der unteren Fläche dieses Ringes ragen die sechs Eisenkerne hervor, deren untere, über den Magnetpolen laufende Flächen zugleich mit der Welle abgedreht worden sind. Die Dimension dieser Kerne ist 44 Millim. Länge, 29 Millim. Durchmesser. Die Inductionsspiralen, wozu der Draht von 1 Millim. Stärke genommen wurde, sind auf Holzrollen gewunden, welche auf die Eisenkerne gesteckt werden. In der Figur sind nur 4 dieser Rollen m, m, m, m sichtbar. Die zwölf Enden sämmtlicher Spiralen laufen von unten in die Holzbüchse o o, und können dort durch Drehung des messingenen Deckels p p, der mit Zeiger und Marken versehen ist, auf vier verschiedene Weisen unter sich und mit dem Commutator r verbunden werden. Die Verbindung Nr. 1, welche die geringste Spannung giebt, verbindet jede Rolle einzeln mit den Enddrähten des Commutators, Nr. 2 verbindet je zwei Spiralen, Nr. 3 je drei Spiralen mit dem Commutator, und Nr. 4, welche die größte Spannung liefert, verbindet alle sechs Spiralen hinter einander und die Enden der Kette mit dem Commutator.



Während einer jeden Umdrehung findet ein sechsmaliger Stromwechsel in der Kette statt, welchen der Commutator r, der sich am obersten Ende der Welle befindet, zu rectificiren hat. Zwei geschlitzte Stahlfedern, welche auf dem Klötzchen

a verstellbar eingerichtet sind, führen den rectificirten Strom durch das gebogene Messingrohr t t in die Endgefäße v v, von wo aus er nun verwendet werden kann.

Der Commutator besteht hier aus vier Stahlscheiben a b c d (Fig. II.), von denen a mit d und b mit c in metallischer Verbindung steht. Getrennt sind beide Systeme im Innern durch die angedeutete Hülse von Buchsbaum e e. Jede Scheibe hat drei Ausschnitte a (Fig. II.), und bei zwei neben einander liegenden Scheiben



liegt stets ein Ausschnitt neben einem vollen Segment. Die auf den oben erwähnten Klötzchen hier c angebrachten geschlitzten Federn b b lassen sich in dem Messingklötzchen f vor- und rückwärts stellen, und mittelst der Schraube mehr oder weniger an die Stahlscheiben andrücken. Bei der Verbindung Nr. 1 (s. oben) sind 6 Drahtenden des Inductors mit der inneren Hülse des Commutators, und die 6 anderen mit der äußeren verbunden. Bei Nr. 2, wo je zwei Spiralen zu einer verbunden sind, stehen drei Drahtenden mit der inneren und 3 mit der äußeren Hülse in Verbindung, bei Nr. 3, wo je drei Spiralen zu einer verknüpft sind, zwei Drahtenden mit der einen und zwei mit der anderen, und bei Nr. 4, welche, wie bereits erwähnt, alle 6 Spiralen hinter einander verbindet, ist das eine Drahtende mit der inneren, das andere mit der äußeren in leitende Gemeinschaft gebracht.

Die Funken, welche man bei der Verbindung Nr. 1 am Commutator wahrnimmt, geben einen stark knallenden Ton, und werfen dabei in außerordentlich reichen Strahlen verbrennende Stahltheilchen nach allen Richtungen und auf große Entfernung von sich. Wenn man statt der etwas starken Feder, welche das Klötzchen a trägt, eine vorn recht schwach gefeilte Uhrfeder mit etwas Oel benetzt und auf die richtige Stelle des Commutators hält, so erreichen viele der ausfahrenden Strahlen eine Länge von 8 bis 10 Zoll.

Ein Papierspan mit Terpentinöl oder Spiritus getränkt, entzündet sich, an die Funken gehalten, augenblicklich. Ein Platindraht von $^1/_4$ Millim. Stärke und 12 Millim. Länge kommt bis zur höchsten Weißglühhitze. Ein Hufeisen von 120 Millim. Schenkellänge und 10 Millim. Stärke des Eisens, welches 4 Reihen von Umwindungen trägt, hält ein Gewicht von 10 Pfund schon dann, wenn man die Maschine im langsamsten Tempo umdreht; bei schnellerem Umdrehen trägt dasselbe Hufeisen 18 Pfund. Mit der Verbindung Nr. 4 zersetzte Stöhrer in

einem Apparate, dessen Platinelektroden nur 100 Quadratmillim. Oberfläche halten, Wasser, und erhielt in 110 Secunden 1 Cubikzoll Knallgas. Gut gebrannte Lindenkohle kam bis zu $2^1/_2$ Millim. Durchmesser zum Glühen, und gab beim Verbrennen ein dem Auge unerträgliches Licht, welches ein Zimmer von 800 Cubikellen vollkommen erleuchtete.

Mit Rücksicht auf diese eben beschriebene Stöhrer'sche Maschine hat W. Weber *) ein Maß für die Wirksamkeit magnetoelektrischer Maschinen gegeben. Aus einem etwa $^2/_3$ Millimeter dicken, 370 Berliner Ellen langen übersponnenen Kupferdrahte wurde eine Rolle von ungefähr 120 Millimeter Durchmesser gebildet, und der Strom der Maschine durch dieselbe geleitet. Ihre Wirkung war dann, wie die eines starken Magnets, in der Ferne noch so groß, daß die dadurch hervorgebrachte Ablenkung eines Magnetometers (s. d. Art.), mit Hülfe von Spiegel und Fernrohr, sich genau messen ließ. Es ließen sich damit ähnliche Ablenkungsversuche machen, wie mit einem Magnetstabe bei der Messung der Intensität des horizontalen Theiles der erdmagnetischen Kraft nach absolutem Maße nach der von Gauß gegebenen Vorschrift ausgeführt werden.

Die Stromstärke ist abhängig von der Geschwindigkeit des Drehens oder der Wechsel des Stromes, wo unter Wechsel der Uebergang der Inductionsrollen von einem Pole zum entgegengesetzten bei der Drehung der Maschine verstanden wird. Unter der Voraussetzung, daß mit der Beschleunigung der Wechsel die Stromstärke ein Maximum erreicht und von da an wieder abnimmt, läßt sich die Abhängigkeit der Stromstärke g von der Zahl n der Wechsel durch die Gleichung $g = \frac{an}{1 + bn + cn^2}$ ausdrücken, wo a, b und c drei aus den Versuchen zu bestimmende Constanten sind.

Die Ursache, daß die Stromstärke, obschon sie mit der Geschwindigkeit des Drehens wächst, dieser doch nicht proportional ist, sieht W. Weber in der Coërcitivkraft des Eisens, welche dasselbe verhindert, den durch Vertheilung in ihm erregten Magnetismus sogleich in ganzer Stärke anzunehmen. Lenz **) ist jedoch durch seine Untersuchungen über diesen Gegenstand zu dem Schlusse gelangt, daß die Nichtproportionalität des Wachsthums der elektromotorischen Kraft und der Drehungsgeschwindigkeit der magnetoelektrischen Maschine, nicht in der Trägheit des Eisens zur Annahme des Magnetismus ihren Hauptgrund habe, sondern daß die geringere Steigerung der elektromotorischen Kraft vorzüglich durch die Stärke des erregten Stromes bedingt werde. Diese Schwächung der elektromotorischen Kraft müsse also von einer Rückwirkung des Stromes in den inducirten Spiralen auf die inducirenden Eisencylinder herrühren, welche Rückwirkung sich nur als Magnetisirung äußern könne ***).

Die Wirkungen des magnetoelektrischen Stromes hängen nun nicht allein von der Stromstärke, sondern auch von der Drahtlänge ab, welche zur Ablenkungsrolle oder zu dem Multiplicator verwendet werden kann, durch welchen der Strom z. B. auf eine Magnetnadel oder auf ein Stück weiches Eisen wirkt. Die Wirksamkeit der Maschine ist daher nach dieser Drahtlänge und Stromstärke abzuschätzen,

*) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 431.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 494.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 513 ff.

und kann durch das Product beider gemessen werden. Nach Verschiedenheit der Umstände erhält dieses Product verschiedene Werthe, unter denen einer ein Maximum ist. Das Product ist aber ein Maximum, wenn erstens der ganze Leitungsdraht außerhalb der Maschine zum wirkenden Multiplicator oder zur Ablenkungsrolle verwendet wird, und wenn zweitens der Widerstand in dem äußeren Leitungsdrahte dem Widerstande des Drahtes in der Maschine gleich ist. Das Maß der Wirksamkeit der Maschine läßt sich dann mit Hülfe des Ohm'schen Gesetzes (s. Art. Strom, elektrischer) bestimmen.

Bei der Vergleichung der Wirksamkeit verschiedener Maschinen ist erforderlich: 1) Gleiche Geschwindigkeit des Wechsels zum Grunde zu legen. 2) Die Wirksamkeit nach dem Producte der Stromstärke in die Länge des disponiblen Schließungsdrahtes zu beurtheilen. 3) Den disponiblen Schließungsdraht bei jeder Maschine dabei so abzumessen, daß die Hälfte des Gesammtwiderstandes in der Kette auf ihn kommt. 4) Endlich nach den Gesetzen äquivalenter Leitungsdrähte die disponiblen Schließungsdrähte der verschiedenen Maschinen auf gleiche Massen von gleichem Metall zu reduciren.

Allen Bestimmungen über die Wirksamkeit magnetoelektrischer Maschinen kann, wie W. Weber bemerkt, ein noch höherer Werth, als diese Vergleichungen haben, ertheilt werden, wenn man sie auf absolutes Maß reducirt, wodurch sie unabhängig von den Instrumenten werden, welche man benutzt hat, und von Ort und Zeit, wo die Versuche gemacht wurden. Dabei kommt es hauptsächlich nur auf die Bestimmung der Stromstärke nach absolutem Maße an (s. d. Art. Strom, elektrischer).

Die von W. Weber ausgeführten Messungen *) lieferten für die Stöhrer'sche Maschine ein günstiges Resultat. Wenn auch nicht zu erwarten steht, sagt derselbe, daß durch bessere Construction so viel erreicht werde, wie mit hydrogalvanischen Ketten, so haben diese Maschinen doch dadurch einen großen praktischen Vorzug vor den letzteren, daß sie unveränderlich und unabhängig von allen chemischen Processen sind. Sie gewähren für alle Zwecke, zu welchen ihre Kraft genügt, die größte Bequemlichkeit im Gebrauche, weil sie ohne Vorbereitung jederzeit fertig und anwendbar sind, sobald nur ein Rad oder eine Kurbel gedreht wird. Der praktische Gebrauch wird mit ihren Leistungen sich schnell erweitern. Es ist daher wichtig, daß jede Verbesserung geprüft und das Wachsthum der Leistungen Schritt für Schritt verfolgt werde.

Schließlich fügt W. Weber **) seiner Abhandlung noch eine Bemerkung über die größte magnetische Wirksamkeit der Maschine bei. Der Schließungsdraht der Maschine besitzt magnetische Kräfte, die nicht blos von der Stromstärke und Drahtlänge, sondern auch von der Form des Drahtes abhängen. Das magnetische Moment wird für eine bestimmte Form des Drahtes ein Maximum, und diese Form ist die Kreisform. Unter Voraussetzung der Kreisform ergiebt sich nun das merkwürdige Resultat, daß, wenn man zum Schließungsdrahte äquivalente Drähte von demselben Metall (Kupfer) nimmt, d. h. Drähte, deren Längen und Querschnitte in dem nämlichen Verhältnisse stehen, die also ihrer Masse nach verschieden sind, ihre magnetischen Momente ihren Massen direct proportional sind.

*) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 440 ff.
**) A. a. O. S. 446.

Nach Lenz *) muß bei den magnetoelektrischen Maschinen der Commutator für jede Geschwindigkeit, oder für jede Stromstärke seine eigene Stellung erhalten, wenn das Maximum der Wirkung eintreten soll. Unter anderen betrachtet er die Funkenerzeugung am Commutator, welche die Unterbrechung und Umkehrung des Stromes begleitet, als ein einfaches Mittel, um die richtige Stellung des Commutators ohne alle Messung zu finden, indem er dabei von der von ihm gemachten Erfahrung ausgeht, daß die Funken immer schwächer werden, je mehr sich die Stellung des Commutators der richtigen nähert, und gänzlich verschwinden, sobald diese erreicht ist. Hiernach soll man nun den Commutator so lange drehen, bis bei der beabsichtigten Geschwindigkeit keine Funken mehr erfolgen. Man werde finden, daß diese Stellung eine andere werde bei einer anderen Geschwindigkeit, und daß, wenn der Commutator die richtige Stellung habe, man bei Beginn der Drehung zwar Funken erhalte, die aber verschwinden, sobald die beabsichtigte Geschwindigkeit erreicht ist.

Beiträge zur weiteren Vervollkommnung der magnetoelektrischen Maschine hat Sinsteden gegeben **). Mit Rücksicht auf die Erfahrung, daß, wenn man einen schwachen Magneten mit gleichnamigen Polen auf einen starken Magneten legt, der Magnetismus des ersteren geschwächt, vernichtet wird, oder selbst seine Pole umgekehrt werden, je nach der Stärke des größeren Magneten, macht er darauf aufmerksam, daß man beim Zusammenlegen eines aus vielen und verschieden starken Lamellen zusammengesetzten Magneten sorgfältig vermeiden müsse, eine dünne Lamelle auf eine starke zu legen, oder eine einzelne Lamelle auf 4, 5 bis 6 schon zusammengelegte Lamellen zu bringen. Am zweckmäßigsten sei es daher, zu zusammengesetzten Magneten nur gleich starke Lamellen zu wählen, und diese nach dem Streichen so zusammenzulegen, daß immer nur zwei gleich starke Pole zusammenkommen. Zuerst lege man daher die gestrichenen Lamellen ohne Anker zu zweien zusammen, dann zwei zu zweien, darauf vier zu vieren u. So vermeidet man durch das Zusammenlegen selbst die Schwächung einzelner Lamellen. Durch vielfache Versuche mit einem größeren magnetoelektrischen Rotationsapparate, bei dem in die Inductionsspiralen verschiedenartige Eisenkerne beliebig eingesetzt werden konnten, gewann Sinsteden die Ueberzeugung, daß auch bei diesen Maschinen Inductionsrollen mit weichen, unter sich gut isolirten Eisendrahtbündeln solchen mit massiven Eisencylindern vorzuziehen seien, sowohl wenn es sich darum handelt, eine große Strommenge, als auch eine große Stromspannung hervorzubringen, also bei kurzen dicken sowohl, als auch bei langen dünnen Inductionsspiralen ***). Einem von Oertling construirten Commutator gibt er in sofern vor dem beschriebenen Stöhrer'schen den Vorzug, als jener einen mehr ununterbrochenen Strom liefere, wovon der Grund darin liege, daß bei dem von Stöhrer die Stromverwechselungsvorrichtung mit der Stromunterbrechungsvorrichtung in Eins vereint sei, wogegen bei dem Oertling'schen Commutator diese Vorrichtungen von einander getrennt, benutzt werden können. Die weiteren Betrach-

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 494. 523.
**) Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 29. 195. 524.
***) Vergl. dagegen Dove: Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität. Berlin 1842. S. 58.

tungen *) Sinsteden's erstrecken sich vorzugsweise auf den Einfluß, welchen die Höhe der Magnetpole, ihre Entfernung von einander, die Dicke der Eisenkerne und die Stellung derselben entweder den Stirnflächen oder den Seitenflächen des Magnets gegenüber haben. Zur Erzielung eines ungewöhnlich großen Stromes empfiehlt er (ihrer Wirksamkeit und Einfachheit wegen) die Einrichtung der Maschine nach J. S. Woolrich in Birmingham, bei der 16 sechs Zoll lange Inductionsrollen zwischen den sechs Zoll weit auseinander stehenden Schenkeln von 8 Magneten rotiren **).

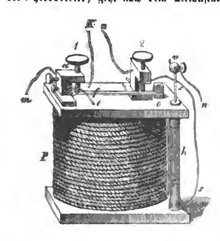
Einen Apparat, bei welchem ein Elektromagnet die Induction ausübt, hat Pohl ***) angegeben und besonders zu chemischen Wirkungen empfohlen. Statt des Stahlmagnets wendet man hier einen hufförmig gebogenen Stab aus weichem Eisen an, der, mit starkem Kupferdraht umwunden, durch eine mäßig starke einfache galvanische Kette magnetisirt wird.

Sinsteden erhielt durch Isolirung der magnetoelektrischen Maschine außer dem elektrischen Strome auch freie Elektricität von geringer Spannung. Zu diesem Behufe bestand die Kurbel aus Glas, und die Magnetpole und Endflächen des Ankers waren mit Wachstaffet und Schellack überzogen, wie auch die auf den Polwalzen schleifenden Federn durch Glassäulen isolirt. Hierauf wurde die ganze Maschine auf eine isolirende Unterlage gestellt und dem Strome stets einerlei Richtung ertheilt. Die mit dem positiven Ende des mehrere tausend Fuß langen Inductordrahtes verbundene Feder zeigte dann freie positive, die andere aber, welche mit dem zweiten Ende des Inductors in Verbindung stand, freie negative Elektricität. Wurde die eine Feder mit dem Ende leitend verbunden, so stieg die elektrische Spannung an der anderen Feder. Die stärkste Spannung zeigte sich aber unmittelbar nach der Unterbrechung der Schließung, indem hier der Inductionsstrom durch einen Extrastrom verstärkt wurde.

Wir wissen bereits, daß die Wirkungen des Extra- oder Gegenstromes in dem Schließungsdrahte einer galvanischen Kette, so wie auch diejenigen des Nebenstromes in einer benachbarten Spirale sehr bedeutend verstärkt werden können, wenn man die Kette während einer gewissen Zeit möglichst rasch öffnet und wieder schließt. Hierzu kann, wie schon erwähnt, das Blitzrad (s. d. Art.) oder auch eine Feile benutzt werden, die an dem einen Pole befestigt ist, und an der man mit dem einen Ende des Schließungsdrahtes auf- und abfährt. Neeff ****) hat aber in Verbindung mit Wagner einen Inductionsapparat construirt, welcher das wechselnde Oeffnen und Schließen mit Hülfe des elektrischen Stromes selbst besorgt. Die umstehende Abbildung *****) zeigt diesen Apparat nach seiner neueren Einrichtung. Die Inductionsspirale P, aus 800 bis 1000 eines $^3/_4$ Millimeter dicken, mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes bestehend, ist um einen ovalen, aufgeschlitzten Cylinder von Eisenblech gewickelt, und auf einem Fußbrete vertical befestigt. In der Höhlung des Cylinders befinden sich 200 bis 300 überfirnißte Eisendrähte von 1 Millim. Dicke, deren obere Enden einen eisernen Anker

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 524.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 532.
***) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 185.
****) Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 104.
*****) Eisenlohr's Physik. Stuttgart 1852. S. 643.

berühren, welcher unter dem oberen Bretchen bei o sich in einen eisernen Schraubenkopf endigt. Das eine Ende des Inductordrahtes ist k, das andere Ende, welches bei i hervortritt, geht nach dem Metallstücke a, dem gegenüber sich ein gleiches



mit Klemmschrauben befindet. Der Draht ss führt zu einem am Boden des Glasröhrchens h, das mit Wasser oder verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist, befestigten Metallplättchen, dem ein anderes Metallplättchen r gegenüber steht, welches durch Hinaufschieben des Drahtes rv beliebig von ihm entfernt werden kann. Die kupferne Feder fe, die an dem Metallstück a befestigt ist, läßt sich durch die Schraube 1 mehr oder weniger herabdrücken, bis das an ihr befestigte eiserne Cylinderchen x dem Schraubenkopf o sehr nahe steht. Auf diese Feder ist bei e ein Platinblech gelöthet, mit dem eine Platinspitze durch die Schraube 2 in Berührung gebracht werden kann. Verbindet man nun das Drahtende k mit dem positiven und z mit dem negativen Pol der Kette, und schließt man m und n durch den Körper, so geht der galvanische Strom von k durch die Windungen der Spirale, tritt bei i heraus nach a, fließt von hier durch f nach e und von e nach z zum negativen Pol der Kette. Während der Circulation dieses Stromes werden der Eisenblechcylinder und Anker magnetisch, so daß das Eisenstück x angezogen wird. Die Feder fe geht alsdann herab und der Strom wird bei e unterbrochen. In diesem Moment entsteht der Gegenstrom, der von a durch m und durch den Körper nach n durch den Draht vr und durch die Wassersäule nach dem Drahte ss und von da nach z geht. Nach der Unterbrechung des primären Stromes aber, wo der Magnetismus in o verschwindet, bewegt sich die Feder vermöge ihrer Elasticität wieder aufwärts, so daß die Platinspitze wieder mit e in Berührung kommt und die Kette von Neuem geschlossen wird. Nun erscheint auch wieder der Magnetismus in o und die Feder fe wird abermals herabgezogen ꝛc. So geräth fe in Schwingungen, welche das wechselnde Oeffnen und Schließen der Kette rasch erneuern, und wodurch die physiologische Wirkung des Gegenstromes so beträchtlich verstärkt wird. Die Wassersäule in h, welche in Folge der Beweglichkeit des Drahtes vr sich verlängern und verkürzen läßt, und durch welche der Gegenstrom seinen Weg nehmen muß, dient als Moderator. Die Drähte am und vn versieht man gewöhnlich mit messingenen oder kupfernen Handhaben. Die Wirkung dieses Apparates auf den menschlichen Körper ist sehr beträchtlich. Die Schläge können sich durch eine Reihe von Personen fortpflanzen, wenn dieselben mit benetzten Händen sich anfassen. Man kann auch an die Drähte am und vn Metallgefäße befestigen, diese mit Wasser füllen und in dasselbe die Finger tauchen. Bringt man an m und n Metallplatten und taucht letztere in einen mit Wasser gefüllten Behälter, so empfindet man die Wirkung des Gegenstromes auf eine sehr merkliche Weise,

wenn man die Hände oder andere Körpertheile zwischen die Platten in das Wasser bringt.

In derselben Weise kann man natürlich auch die Wirkungen des Nebenstromes zur Wahrnehmung bringen, wenn man zwei lange, übersponnene Kupferdrähte neben einander zu Spiralen windet, und die Enden der einen Spirale mit dem vorbeschriebenen Mechanismus in Verbindung setzt, während man die Enden der anderen durch den Körper oder dergleichen schließt.

Man kann auch beide Spiralen oder Drahtrollen ganz von einander trennen, die eine, die Schließungsrolle der galvanischen Kette, auf einem Bretchen horizontal befestigen und mit jener Vorrichtung zum abwechselnden Oeffnen und Schließen der Kette in Verbindung bringen. Die Inductionsrolle dagegen ist auf dem Bretchen im horizontalen Sinne beweglich, so daß sie ganz über die Schließungsrolle geschoben werden kann. Beide Rollen sind so zu einander gestellt, daß ihre Axen zusammenfallen, und durch allmälige Annäherung der Inductionsrolle an die Schließungsrolle oder durch das Entfernen der einen Rolle von der anderen läßt sich die Wirkung des Inductionsstromes nach Belieben steigern oder schwächen.

Wenn in einem Leitungsdrahte positive und negative Ströme, d. h. Ströme von entgegengesetzter Richtung, rasch wechseln, so verwandelt sich die Strombewegung der Elektricität gewissermaßen in eine Schwingung, und eine solche Schwingung läßt sich mit einem Galvanometer, z. B. mit einer Sinus- oder Tangentenboussole nicht beobachten, weil hier die Wirkungen der auf einanderfolgenden entgegengesetzten Schwingungen oder Stromwellen sich aufheben. Wohl aber kann zu diesem Behufe benutzt werden *) das von W. Weber angegebene Dynamometer (s. d. Art. Elektromagnetismus), in dessen beiden Ringen die Richtung der Schwingung immer gleichzeitig wechselt und die beobachtete Ablenkung dem Quadrate der Stromintensität proportional ist. Die Richtung des Stromes in beiden Ringen hat hier keinen Einfluß auf die Wirkung, weil beim Dynamometer von einem durch beide Ringe geleiteten negativen Strom eine Ablenkung nach derselben Seite hervorgebracht wird, wie von einem durch beide Ringe geleiteten positiven Strom. Die Ablenkung des Dynamometers nach der einen oder anderen Seite ist also nicht wie beim Galvanometer von der Richtung des durchgehenden Stromes, sondern blos von der Verbindung der Drahtenden beider Ringe abhängig. Nun läßt sich durch einen magnetisirten Stahlstab, der durch Anschlagen zum Tönen gebracht werden kann, leicht eine elektrische Schwingung in einem Leitungsdrahte hervorbringen, wenn ein Theil des letzteren als Inductorring das frei schwingende Ende des Klangstabes so umgiebt, daß die Richtung der Schwingungen gegen die Ebene der Drahtwindungen senkrecht ist. Alle Schwingungen des Klangstabes nach der einen Seite induciren dann im Drahte positive Ströme, alle Schwingungen nach der anderen Seite negative Ströme, die so schnell auf einander folgen, wie die Schallschwingungen selbst. Sind die Drahtenden des Inductorringes mit den Drahtenden des Dynamometers verbunden, so beobachtet man eine Ablenkung des letzteren, die sich genau messen läßt. Diese Ablenkung bleibt so lange unverändert, als die Intensität der Schallschwingungen unverändert bleibt,

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 192. 218.

nimmt aber schnell ab bei abnehmender Intensität der letzteren, und beträgt, wenn die Amplitude der Schallschwingungen auf die Hälfte herabgesunken ist, nur noch den vierten Theil. Das Dynamometer bietet also ein Hülfsmittel, die Intensität der Schallschwingungen zu messen.

Das Elektro-Dynamometer dient auch in Verbindung mit dem Galvanometer zur Bestimmung der Dauer momentaner Ströme *). Die Intensität eines fortdauernden constanten Stromes kann sowohl mit dem Galvanometer als auch mit dem Dynamometer bestimmt werden; bei einem Strome von momentaner Dauer reicht aber die Beobachtung eines von diesen beiden Instrumenten nicht hin, weil die beobachtete Ablenkung nicht blos von der Intensität des Stromes, sondern auch von der Dauer desselben abhängt. Es ist daher nothwendig, um die Intensität eines Stromes zu erfahren, auch seine Dauer zu bestimmen. Geht nun derselbe momentane Strom durch beide Instrumente hindurch und wird die dadurch hervorgebrachte Ablenkung beider Instrumente beobachtet, so kann aus diesen beiden Beobachtungen sowohl die Dauer als auch die Intensität des momentanen Stromes bestimmt werden. Diese wechselseitige Ergänzung beider Instrumente gründet sich darauf, daß die beobachtete Ablenkung beider von der Dauer des momentanen Stromes auf gleiche Weise abhängt, nämlich derselben proportional ist, dagegen aber von der Intensität des Stromes nicht auf gleiche Weise abhängt, weil die Ablenkung des Galvanometers der Stromintensität proportional ist. s und σ bezeichne die Schwingungsdauer des Galvanometers und Dynamometers; e' und ε' die Ablenkung, in welcher beide Instrumente verharren, wenn durch beide derselbe fortdauernde constante Strom von der Intensität i' geht; e und ε bezeichne dagegen die Elongationsweite, zu welcher beide Instrumente in Folge eines momentanen Stromes von der Dauer Θ und von der Intensität i gelangen: so ergiebt sich zur Bestimmung der Dauer Θ folgende Gleichung:

$$\Theta = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{s^2}{\sigma} \cdot \frac{\varepsilon'}{e'^2} \cdot \frac{e^2}{\varepsilon},$$

zur Bestimmung der Intensität des Stromes i aber folgende Gleichung:

$$i = \frac{\sigma}{s} \cdot \frac{e'}{\varepsilon'} \cdot i' \cdot \frac{\varepsilon}{e},$$

wo s, σ, e', ε', i' e und ε durch Beobachtung bestimmbare Größen sind.

Weber betrachtet diese Verbindung des Dynamometers mit dem Galvanometer als von besonderer Wichtigkeit in der Physiologie zur genaueren Erforschung der Nervenerregung durch galvanische Ströme, da es sich dabei zeige, daß zumal Sinnesnerven durch fortdauernde Ströme schnell abgestumpft werden, und daß daher zu solchen Versuchen häufig momentane Ströme angewendet werden müssen. Die beobachteten Sinneseindrücke hängen dann aber weniger von der Dauer des Stromes als von seiner Intensität ab, und es ist nothwendig, beide zu kennen.

W. Weber hat einen mathematischen Ausdruck aufgestellt **), welcher sowohl die Grundgesetze der Elektrostatik und Elektrodynamik als auch das Grundgesetz der Inductionserscheinungen in sich begreift.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 215.

**) Abhandl. bei Begründ. der Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. ꝛc. S. 303. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 219.

Die Elektrostatik betrachtet die Spannungsverhältnisse der ruhenden, aber zur Bewegung strebenden Elektricität. Bezeichnen nun E und E' die Intensitäten der beiden positiv oder negativ elektrischen Zustände, oder sind E und E' zwei positive oder negative elektrische Massen, so ist das Grundprincip der Elektrostatik, welches für die Wechselwirkung zweier gleichnamig oder ungleichnamig elektrisirter Körper in irgend einer Entfernung R gilt, durch die Formel $\frac{E E'}{R^2}$ gegeben. Je nachdem dieser Ausdruck positiv oder negativ ist, findet Abstoßung oder Anziehung statt.

Hat man aber zwei Stromelemente von der Länge α und α' und der Intensität i und i', welche in der Entfernung r von einander so liegen, daß die Richtungen, nach denen sich die positive Elektricität in beiden Elementen bewegt, mit einander den Winkel ε und mit der verbindenden Geraden die Winkel Θ und Θ' einschließen, so wird die Größe der Kraft, mit welcher beide Stromelemente auf einander wechselseitig wirken, nach Ampère durch die Formel

$$-\frac{\alpha\alpha' i i'}{r^2}\left(\cos\varepsilon - \frac{3}{2}\cos\Theta\cos\Theta'\right)$$

bestimmt. Es erfolgt Abstoßung oder Anziehung, je nachdem dieser Ausdruck positiv oder negativ ist.

Der zuerst aufgestellte Ausdruck bezieht sich also auf zwei elektrische Massen und deren Wechselwirkung, der zweite auf zwei Stromelemente und deren Wechselwirkung. Ein innerer Zusammenhang zwischen beiden kann nur, sagt Weber, dadurch erzielt werden, daß man auch in den Stromelementen auf die Betrachtung der elektrischen Massen, welche in den Stromelementen sich befinden, und ihre Wechselwirkung zurückgeht. Nun sind in zwei Stromelementen vier Wechselwirkungen zu berücksichtigen, nämlich zwei abstoßende zwischen den beiden positiven und zwischen den beiden negativen Massen in den Stromelementen, und zwei anziehende zwischen der positiven Masse in dem ersten und der negativen Masse in dem zweiten, und zwischen der negativen Masse in dem ersten und der positiven in dem zweiten Stromelemente. Soll aber die Summe dieser Einwirkungen für alle Fälle, nämlich nicht allein für den Fall gegenseitiger Ruhe, sondern auch für jede Bewegung beider elektrischer Massen gegen einander bestimmt werden, so muß zu dem Werthe, welchen die Elektrostatik für die Kraft giebt, mit welcher zwei elektrische Massen auf einander wirken, noch eine von ihrer gegenseitigen Bewegung abhängige Ergänzung hinzugefügt werden. Weber entwickelt nun zunächst mit Zugrundelegung der Formel $-\frac{\alpha e \cdot \alpha' e'}{r^2} \cdot a^2 u u' \left(\cos\varepsilon - \frac{3}{2}\cos\Theta\cos\Theta'\right)$ vier Ausdrücke, die einzeln die vier Kräfte darstellen, welche die vier elektrischen Massen in beiden Stromelementen paarweise auf einander ausüben. In dieser Formel bezeichnet αe die Masse der positiven Elektricität, welche in dem Stromelemente, dessen Länge $= \alpha$, enthalten ist, u die Geschwindigkeit, mit welcher diese Masse sich bewegt. Das Product eu drückt aber diejenige Masse positiver Elektricität aus, welche während der Zeiteinheit durch jeden Querschnitt des Leitungsdrahtes geht, mit welcher die Stromintensität i proportional zu setzen ist, so daß, wenn a einen constanten Factor bezeichnet, a e u = i ist. Bezeichnet aber

α e die Masse der positiven Elektricität in dem Stromelemente α, und u ihre Geschwindigkeit, so ist — α e die Masse der negativen Elektricität in denselben Stromelemente, und — u deren Geschwindigkeit. Eben so hat man bezüglich des zweiten Stromelements $a e' \alpha' = i'$, und wenn $\alpha' e'$ die Masse der positiven Elektricität in diesem zweiten Stromelemente bezeichnet, so ist — $\alpha' e'$ die Masse der negativen Elektricität in demselben Elemente. Die obige Formel ergiebt sich aber, wenn man in der Ampère'schen Formel S. 48: $i = a e u$ und $i' = a e' u'$ setzt.

Weber findet nun für die Kraft, mit welcher eine beliebige positive oder negative Masse E auf eine beliebige andere positive oder negative Masse E' in der Entfernung R bei einer relativen Geschwindigkeit $\frac{dR}{dt}$ und Beschleunigung $\frac{d^2R}{dt^2}$, wirkt, den Ausdruck

$$-\frac{a^2}{16} \cdot \frac{EE'}{R^2}\left(\frac{dR^2}{dt^2} - 2R\frac{d^2R}{dt^2}\right).$$

Während die von Ampère aufgestellte Formel sich blos auf den speciellen Fall bezieht, wo vier elektrische Massen zugleich gegeben sind, die sich unter den bei unveränderlichen und unverrückten Stromelementen vorausgesetzten Verhältnissen befinden, findet eine solche Beschränkung auf die angegebenen Verhältnisse bei diesem Ausdrucke nicht statt. Fügt man nun zu dieser Weber'schen Formel den Ausdruck $\frac{EE'}{R^2}$, welchen die Elektrostatik für die Wechselwirkung zweier elektrischer Massen E und E' in der Entfernung R giebt, so erhält man als allgemeinen Ausdruck zur vollständigen Bestimmung der Kraft, welche eine beliebige elektrische Masse E auf eine andere E ausübt, sie mögen ruhen oder sich bewegen:

$$\frac{EE'}{R^2}\left(1 - \frac{a^2}{16} \cdot \frac{dR^2}{dt^2} + \frac{a^2}{8} \cdot R\frac{d^2R}{dt^2}\right).$$

Für ein bestimmtes der Zeitmessung zu Grunde gelegtes Maß, für welches $a = 4$ ist, verwandelt sich dieser Ausdruck in:

$$\frac{EE'}{R^2}\left(1 - \frac{dR^2}{dt^2} + 2R\frac{d^2R}{dt^2}\right).$$

Versteht man weiter unter reducirter relativer Geschwindigkeit der Massen E und E' diejenige relative Geschwindigkeit, welche diese Massen, denen in dem betrachteten Augenblicke die Entfernung R, die relative Geschwindigkeit $\frac{dR}{dt}$ und Beschleunigung $\frac{d^2R}{dt^2}$ zukommt, wenn die letztere constant wäre, in demjenigen Augenblicke haben würden, in welchem beide, dieser Voraussetzung gemäß, in einem Punkte zusammenträfen, und bezeichnet V diese reducirte relative Geschwindigkeit, so verwandelt sich der obige Ausdruck in folgenden: $\frac{EE'}{R^2}(1 - V^2)$, was Weber in Worten folgendermaßen ausspricht:

„Die von der Bewegung herrührende Verminderung der Kraft, mit welcher zwei elektrische Massen auf einander wirken, ist dem Quadrate ihrer reducirten relativen Geschwindigkeit proportional."

Sind ein Stromelement und ein Element eines Stromleiters, jedoch ohne einen darin vorhandenen Strom gegeben, so weiß man, daß alsdann elektrische Ströme erregt oder inducirt werden, und man faßt die Erscheinungen dieser inducirten Ströme unter dem Namen Volta-Induction zusammen.

Weber weist darauf hin, daß keine von allen diesen Erscheinungen sich weder aus dem Princip der Elektrostatik noch aus dem von Ampère aufgestellten Princip der Elektrodynamik voraus bestimmen lasse, und zeigt dann *), daß aus dem neuen, von ihm aufgestellten Grundprincipe auch die Gesetze zur Vorausbestimmung aller Erscheinungen der Volta-Induction abgeleitet werden können.

Bezeichnen nun α und α' die Längen zweier Elemente, so hat man in diesen beiden Elementen die elektrischen Massen $+\alpha e$, $-\alpha e$, $+\alpha' e'$, $-\alpha' e'$. Die erste dieser Massen bewegt sich mit einer gewissen Geschwindigkeit u in der Richtung des ruhenden Elements α, welche mit der von α nach α' gezogenen Geraden den Winkel Θ macht. Die zweite Masse $-\alpha e$ bewegt sich in der nämlichen Richtung mit derselben Geschwindigkeit, aber rückwärts. Die dritte Masse $+\alpha' e'$ bewegt sich mit einer gewissen Geschwindigkeit u' in der Richtung des Elements α', welche mit der von α nach α' gezogenen und verlängerten Geraden den Winkel Θ' macht. Außerdem theilt aber diese Masse die Bewegung des Elements α' selbst, welche mit der Geschwindigkeit v in einer Richtung geschieht, die mit der von α nach α' gezogenen, verlängerten Geraden den Winkel η macht, und in einer durch diese Gerade gelegten Ebene enthalten ist, welche mit der durch dieselbe Gerade parallel mit dem Elemente α gelegten Ebene den Winkel γ einschließt. Die vierte Masse $-\alpha' e'$ bewegt sich, den Bestimmungen eines galvanischen Stromes gemäß, in der Richtung des Elements α' mit derselben Geschwindigkeit, wie das vorige, aber rückwärts. Legt man endlich durch die von α nach α' gezogene Gerade zwei Ebenen, die eine mit α, die andere mit α' parallel, so bezeichne ω' den von diesen beiden Ebenen eingeschlossenen Winkel.

Werden nun außer den Bewegungen der elektrischen Massen in ihren Leitern auch die ihnen mit ihren Leitern gemeinschaftlichen Bewegungen in Rechnung gebracht; so ergiebt sich für die Summe der Kräfte, welche auf die positive und negative Elektricität im Element α' wirken, $-\frac{\alpha\alpha'}{r^2} \cdot aeu \cdot ae'u'$ (sin Θ sin Θ' cos $\omega - \frac{1}{2}$ cos Θ cos Θ' cos η).

Wenn man aber hierin mit ε den Winkel bezeichnet, welchen die Richtungen der beiden Elemente α und α' mit einander machen, und i und i' an die Stelle von a e u u. a e' u' (S. 48 u. 49) setzt, so erscheint nach einer leichten Umwandlung $-\frac{\alpha\alpha' i i'}{r^2}(\cos\varepsilon - \frac{3}{2}\cos\Theta\cos\Theta')$, also der nämliche Ampère'sche Ausdruck, welcher für unveränderliche und unverrückte Stromelemente gilt, d. h. die auf das ganze Element α' wirkende elektrodynamische Kraft wird bei bewegten Leitern und veränderlichen Stromintensitäten eben so bestimmt, wie wenn die Stromintensitäten unveränderlich und die Leiter unverrückt verharrten.

Die Differenz der Kräfte aber, welche auf die positive und negative

---

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 231

Elektricität im Element α' inducirend wirken, wodurch diese beiden Elektricitäten von einander geschieden und im Leiter nach entgegengesetzten Seiten bewegt werden, erhält ihren Ausdruck in der Formel $-\frac{\alpha\alpha'}{r^2}$. a e n . a e' v (sin Θ sin η cos γ $- \frac{1}{2}$ cos Θ cos η) $- \frac{1}{2} \frac{\alpha\alpha'}{r^2} a^2$ e e' cos $\Theta \cdot \frac{du}{dt}$, oder weil a e u = i und a e . d u = d i ist, $= -\frac{\alpha\alpha'}{r^2}$ i (sin Θ sin η cos γ $- \frac{1}{2}$ cos Θ cos η). a e' v $- \frac{1}{2} \frac{\alpha\alpha'}{r}$. a e' cos $\Theta \cdot \frac{di}{dt}$.

Die hierdurch bestimmte Kraft sucht nun die positive und negative Elektricität im inducirten Elemente α' nach der Richtung der Geraden r zu scheiden. In dieser Richtung kann aber bei einem linearen Leiter die Scheidung nicht erfolgen, sondern nur in der Richtung des inducirten linearen Elements α' selbst, die mit der verlängerten Geraden r den Winkel Θ' macht. Zerlegt man also jene ganze Scheidungskraft nach dieser Richtung, d. h. multiplicirt man obigen Werth mit cos Θ', so erhält man die Kraft, welche die wirkliche Scheidung bewirkt, $= -\frac{\alpha\alpha'}{r^2}$ i (sin Θ sin η cos γ $- \frac{1}{2}$ cos Θ cos η) . a e' v cos Θ' $- \frac{1}{2}$ $\frac{\alpha\alpha'}{r}$ a e' . cos Θ cos $\Theta' \cdot \frac{di}{dt}$.

Dividirt man diesen Ausdruck durch e', so giebt derselbe die vom inducirenden Elemente α auf das inducirte Element α' ausgeübte elektromotorische Kraft im gewöhnlichen Sinne, nämlich $-\frac{\alpha\alpha}{r^2}$ i (sin Θ sin η cos γ $- \frac{1}{2}$ cos Θ cos η) . a v cos Θ' $- \frac{1}{2} \frac{\alpha\alpha'}{r}$ a cos Θ cos $\Theta' \cdot \frac{di}{dt}$.

Dies ist nun das allgemeine Gesetz der Volta-Induction, aus dem sich die besonderen Fälle derselben ableiten lassen.

Findet keine Aenderung der Stromintensität statt, wo dann $\frac{di}{dt} = 0$ ist, so stellt sich das Gesetz der Induction eines constanten Stromelements auf das dagegen bewegte Element eines Leiters heraus. Man hat dann dafür die elektromotorische Kraft: $= -\frac{\alpha\alpha'}{r^2}$ i (sin Θ sin η cos γ $- \frac{1}{2}$ cos Θ cos η) . a v cos Θ', oder, wenn ε der Winkel ist, welchen die Richtung des inducirenden Stromelements mit der Richtung, nach welcher das inducirte Element selbst bewegt wird, einschließt, $-\frac{\alpha\alpha'}{r^2}$ i (cos ε $- \frac{3}{2}$ cos Θ cos η) . a v cos Θ'.

Je nachdem dieser Ausdruck einen positiven oder negativen Werth hat, ist der inducirte Strom positiv oder negativ, wo unter positivem Strome ein solcher verstanden wird, dessen positive Elektricität in derjenigen Richtung des Elements

α' sich bewegt, welche mit der verlängerten Geraden r den Winkel Θ' einschließt.

Sind die Elemente α und α' einander parallel, und ist die Richtung, nach welcher das letztere mit der Geschwindigkeit v bewegt wird, in der Ebene jener beiden Parallelen enthalten und auf deren Richtung senkrecht, so ist, wenn α' durch seine Bewegung von α sich entfernt, $\Theta = \Theta'$, $\cos \eta = \sin \Theta$, $\cos \varepsilon = 0$, also die elektromotorische Kraft $= + \frac{3}{2} \frac{\alpha \alpha'}{r^2}$ i $\sin \Theta \cos \Theta^2$. a v. Dieser Werth ist immer positiv, weil $\Theta < 180^\circ$ zu nehmen ist, und dieser positive Werth bezeichnet hier übereinstimmend mit der Erfahrung einen inducirten Strom von gleicher Richtung wie der inducirende.

Unter gleichen Verhältnissen, nur mit dem Unterschiede, daß das Element α' durch seine Bewegung dem Elemente α genähert wird, ergiebt sich: $\Theta = \Theta'$, $\cos \eta = - \sin \Theta$, $\cos \varepsilon = 0$, folglich die elektromotorische Kraft $= - \frac{3}{2} \frac{\alpha \alpha'}{r^2}$ i $\sin \Theta \cos \Theta^2$. a v. Der negative Werth dieser Größe bezeichnet einen inducirten Strom von entgegengesetzter Richtung, wie der inducirende.

Die Volta-Induction kann auf zwei verschiedene Arten, nämlich durch constante und veränderliche Ströme bewirkt werden. Bei der Induction durch erstgenannte Ströme wird entweder der Leiter, durch welchen der Strom geht, gegen denjenigen Leiter bewegt, in welchem der Strom inducirt werden soll, oder umgekehrt. Durch veränderliche Ströme kann inducirt werden, auch wenn der Leiter, durch welchen der veränderliche Strom geht, gegen denjenigen Leiter, in welchem der Strom inducirt werden soll, unverrückt bleibt.

Aus dem oben aufgestellten allgemeinen Gesetze der Volta-Induction ergab sich das besondere Gesetz für die erstere Art von Induction durch die Bedingungsgleichung $\frac{d i}{d t} = 0$, für die letztere Art von Volta-Induction ergiebt sich daraus das besondere Gesetz durch die Bedingungsgleichung v = o, oder das Gesetz der Induction eines veränderlichen Stromes auf das dagegen nicht bewegte Element eines Leiters, oder der Werth der elektromotorischen Kraft $= - \frac{1}{2} \frac{\alpha \alpha'}{r}$ a $\cos \Theta \cos \Theta' . \frac{d i}{d t}$, folglich die Induction für einen Zeitraum, in welchem die Intensität des inducirenden Stromes um i zunimmt, während r, Θ und Θ' unverändert bleiben, $= - \frac{a}{2} . \frac{\alpha \alpha'}{r}$ i $\cos \Theta \cos \Theta'$.

Der positive Werth dieses Ausdrucks bezeichnet einen im Elemente α' inducirten Strom nach der Richtung von α', welche mit der verlängerten Geraden r den Winkel Θ' macht, der negative Werth einen inducirten Strom von der entgegengesetzten Richtung.

Sind die beiden Elemente α und α' einander parallel, und ist $\Theta = \Theta'$, so ist der obige Ausdruck für wachsende Stromintensität, oder für einen positiven Werth von i, negativ, d. h. bei wachsender Stromintensität in α wird in α' ein Strom in entgegengesetzter Richtung erregt, als der inducirende Strom hat. Das

Umgekehrte findet bei abnehmender Stromintensität statt. Und beides, wie auch die Proportionalität der Induction mit der Intensitätsänderung i des inducirenden Stromes ist der Erfahrung gemäß.

Geht man endlich wieder auf den allgemeinen Fall zurück, wo zugleich die Intensität des inducirenden Stromes veränderlich ist und auch die beiden Leiter gegen einander bewegt werden, so ergiebt sich die elektromotorische Kraft eines variablen Stromelements auf das bewegte Element eines Leiters einfach als die Summe der elektromotorischen Kräfte, welche stattfinden würde, wenn das Element des Leiters in dem betrachteten Augenblicke nicht bewegt würde, und wenn zweitens das Element des Leiters zwar bewegt würde, aber die Stromintensität des inducirenden Elements in dem betrachteten Augenblicke sich nicht änderte.

Zum Schlusse dieser Betrachtungen über die Volta-Induction sei noch bemerkt, daß Fechner *) zuerst die Erscheinungen derselben unter das Ampère'sche Gesetz zu subsumiren suchte. Hierauf stellte Neumann **), anknüpfend an eine Arbeit von Lenz ***), ein allgemeines Gesetz der Volta-Induction auf, bis Weber in neuerer Zeit die Sache auf die angegebene Weise ganz allgemein auffaßte und auch die elektrostatischen Erscheinungen dabei in Betracht zog. Zur Bestimmung der Constanten endlich, von welcher die Intensität inducirter elektrischer Ströme abhängt, hat Kirchhoff ****) ein Verfahren mitgetheilt.

Durch das Annähern eines Magnets an einen geschlossenen Leiter der Elektricität wird also im letzteren ein Strom erregt, der aber nur von kurzer Dauer ist, selbst dann, wenn der Magnet in der Nähe des Leiters, jedoch ohne sich zu bewegen, verweilt. Dagegen tritt ein dem vorigen entgegengesetzter Strom auf, wenn der Magnet vom Leiter entfernt wird. Und denselben Erfolg, wie das Annähern und Entfernen eines Magnets, hat das Entstehen und Verschwinden des Magnetismus in der Nachbarschaft eines solchen Leiters; — ein Vorgang, der mit dem vorhergehenden im Grunde auf Eins hinaus kommt. Nun ist es aber sehr wahrscheinlich, daß der Magnet, so lange der Leiter sich in seiner Wirkungssphäre befindet, auf diesen fortdauernd (im Wesentlichen wenigstens) denselben Einfluß ausübt, und das Verschwinden des Magnetismus allein kann bezüglich des Leiters keinen Erfolg haben, wenn nicht während der Dauer des Magnetismus im Leiter etwas geschieht, was beim Aufhören des Magnetismus eine Veränderung erleidet. Im Hinblick auf die Grunderscheinungen der Inductionselektricität kann man nun den Schluß ziehen, daß der angenäherte Magnet durch seine Einwirkung auf den Leiter das elektrische Gleichgewicht in demselben aufhebt und dadurch eine Bewegung der Elektricität, d. h. einen elektrischen Strom nach einer bestimmten Richtung veranlaßt. Dieser Strom verschwindet, sobald die Elemente des Elektricums in einem neuen Gleichgewichtszustande zur Ruhe gekommen sind. Dieser neue Gleichgewichtszustand ist aber ein dem natürlichen Zustande des Leiters

*) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 337.
**) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 31. Abhandl. der Berl. Akad. d. Wissensch. 1845.
***) Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 483.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 412.

fremdartiger, und erhält sich nur so lange, als der Einfluß des ruhenden Magnetismus andauert. Wird der magnetische Einfluß entfernt, so kehren die Elemente des Elektricums in die anfängliche Gleichgewichtslage zurück, was die Entstehung eines Stromes zur Folge hat, der seiner Richtung nach dem vorigen entgegengesetzt sein muß. Dieselben Vorgänge finden statt bei der Annäherung eines von Elektricität durchströmten Leiters an einen anderen geschlossenen Leiter, wo in dem letzteren durch die Wirkung des ersteren ebenfalls ein Strom entsteht, der sich in den entgegengesetzten verwandelt, wenn der eine Leiter vom anderen entfernt wird. So weit erscheint die Sache einfach und naturgemäß.

Betrachtet man Elektricität und Magnetismus als verschiedenartige Naturpotenzen, so geht dem ersten Anscheine nach die Einheit der Erklärung für beide Arten der Induction, nämlich der magnetoelektrischen und Volta-Induction verloren. Eine solche Einheit zu behaupten, ist aber gerade nicht die Aufgabe der Naturforschung, welche sich vorzugsweise an die Thatsachen und an die aus denselben gezogenen Schlüsse hält. Auch weiß man, daß das elektrische Gleichgewicht durch die verschiedenartigsten Ursachen gestört werden kann. Sieht man den Grund des Magnetismus, der Ampère'schen Theorie gemäß (s. d. Art. Elektromagnetismus), in elektrischen Strömen, welche die Massentheilchen des Eisens umkreisen, so hat man ein gemeinsames Erklärungsprincip für beide Arten der Induction; allein ein solches ist auch dann vorhanden, wenn man annimmt, daß die Volta-Induction nicht durch den primären elektrischen Strom selbst, sondern vielmehr durch den Magnetismus bewirkt werde, welchen der genannte Strom in dem Schließungsbogen der elektrischen Kette erregt. Während die entgegengesetzt elektrischen Zustände innerhalb des Schließungsdrahtes sich ausgleichen und darum weniger nach Außen wirken, entsteht in demselben eine von dem elektrischen Strome selbst unterschiedene magnetische Polarität mit freier Wirksamkeit nach Außen, durch welche in einem benachbarten Leiter das elektrische Gleichgewicht aufgehoben wird. Und hierbei sei noch bemerkt, daß die von Weber aufgestellte Formel für die Volta-Induction, unbeschadet ihres sonstigen Werthes, keinen Beweis liefert, daß diese Induction lediglich eine Folge der Wechselwirkung elektrischer Massen sei. Dagegen steht das inducirende Princip wohl ohne Zweifel in einer bestimmten Beziehung zu den in jener Formel vorkommenden Größen und es wird darum auch, hinsichtlich seiner Wirkung, in derselben einen Ausdruck finden können. Uebrigens fehlt es auch im Gebiete der Inductionselektricität nicht an Erscheinungen, welche darauf hindeuten, daß Elektricität und Magnetismus verschiedene Naturpotenzen sind, obschon dieselben meist einander begleiten. Dove hat hierauf bei Gelegenheit seiner Untersuchungen über die durch Magnetisiren des Eisens vermittelst Reibungselektricität *) inducirten Ströme aufmerksam gemacht.

Ein von Elektricität durchflossener Leiter erzeugt in einem neben ihm befindlichen Leiter einen schnell vorübergehenden elektrischen Strom, nur wenn der Strom in ihm beginnt und wenn er aufhört, nicht aber so lange derselbe fortdauert. Dagegen erregt er während seines ganzen Bestehens in einem neben ihm befindlichen Eisen Magnetismus, der sich in einer merkbaren Zeit zum Maximum steigert.

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 305.

Dove sagt nun: die von Ampère zur Erläuterung dieses Magnetismus angenommenen, die Eisentheilchen umkreisenden elektrischen Ströme unterscheiden sich also von allen bekannten elektrischen Strömen dadurch, daß sie während der Dauer eines elektrischen Stromes sich bilden, d. h. unter Umständen eintreten, wo sich nie andere elektrische Ströme bilden. Die Versuche zeigen aber, daß die im Eisen bei dem Magnetisiren desselben nachweisbaren elektrischen Ströme entgegengesetzt wirken dem zugleich hervortretenden Magnetismus, ja daß sie dessen Wirkung nicht nur vollkommen neutralisiren, sondern sogar ihre entgegengesetzte Wirkung überwiegend geltend machen können. Da es nun nicht passend scheint, zwei Naturthätigkeiten, von denen die eine unter Umständen zu wirken beginnt, bei welchen die andere nie hervortritt, und welche, wenn sie zugleich in demselben Körper thätig sind, einander so entgegenwirken, daß bald die eine, bald die andere überwiegt, als identische durch denselben Namen zu bezeichnen, so scheint es zweckmäßig, Magnetismus und Elektricität als zwei unterschiedene Naturkräfte anzuerkennen. Und weiter *) fährt er fort: „Die Gesammtheit der hier betrachteten Erscheinungen zeigt, daß der Unterschied zwischen der inducirenden Wirkung einer Eisenmasse und eines Drahtbündels nicht durch die Annahme erklärt werden kann, daß die elektrischen Ströme, welche den Magnetismus im Eisen erzeugen, anders beschaffen sind als die, welche während der Dauer des primären Stromes diesen Magnetismus erhalten. Denn diese Annahme führt wohl zu einer Schwächung, aber nie zu einer Umkehrung der Erscheinung, höchstens zu einer Wirkungslosigkeit, selbst unter der äußersten Voraussetzung, daß man sich die entstehenden Ströme anfangs parallel der Oberfläche des Eisens, später normal auf derselben denke. Auch erläutert sie nicht, daß eine inducirende Wirkung geschwächt werde, die andere verstärkt. Man muß vielmehr einen Schritt weiter gehen, und die magnetische Polarisirung als ein von den im Eisen erregten elektrischen Strömen nicht nur unabhängiges, sondern entgegengesetzt wirkendes Agens anerkennen." Die Erklärung der betreffenden Phänomene ist dann nach Dove die S. 29 dieses Artikels gegebene. Jacobi betrachtete schon früher **) die Inductionserscheinungen beim Oeffnen und Schließen der Kette als besondere Formen der magnetoelektrischen Induction, da der galvanische Schließungsdraht wohl ganz so, wie jeder andere geschlossene Leiter, fähig sei, magnetoelektrisch erregt zu werden.

Man erkennt nun leicht, daß die Theorie der Inductionselektricität in genauem Zusammenhange steht mit der Theorie der übrigen elektrischen und magnetischen Erscheinungen, und deshalb müssen wir hier, nachdem wir die Hauptfragepunkte hervorgehoben haben, auf die Artikel Elektricität, Elektromagnetismus, Galvanismus und Magnetismus verweisen.

Inflexion oder Diffraction oder Beugung. Wenn die in einem Medium fortschreitenden und sich ausbreitenden Wellen (vergl. Art. Wellen) auf eine Oeffnung in einer festen Wand treffen, welche in einen zweiten mit demselben Medium erfüllten Raum führt, so verbreiten sich die durch die Oeffnung gehenden Wellentheile nicht blos in dem Raume hinter derselben, welcher durch die Fortschreitungsrichtung der Wellen und durch die Größe der Oeffnung bedingt wird,

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 323.
**) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 132.

sondern auch außerhalb dieses Raumes, so als ob die einzelnen Stellen des Randes der Oeffnung die Ausgangspunkte neuer Wellensysteme wären. Die Wellen schreiten also hinter der Oeffnung in einem erweiterten Raume fort, und außerdem zeigen sich, indem die neu entstandenen Wellensysteme sich durchkreuzen, Interferenzphänomene (vergl. Art. Interferenz). Dies ist im Allgemeinen die Erscheinung, welche man Beugung der Wellen genannt hat.

Wegen der Beugungserscheinungen auf der Oberfläche tropfbarflüssiger Medien verweisen wir auf Art. Wellen. In dem vorliegenden Artikel werden wir namentlich die Inflexion des Lichtes und die noch weniger untersuchte des Schalles und der Wärme behandeln. Da übrigens bei der Inflexion die Interferenzphänomene einen wesentlichen Theil ausmachen, so sei gleich an dieser Stelle auf Art. Interferenz als eine Ergänzung des vorliegenden verwiesen.

A. Inflexion des Schalles.

Daß bei dem Durchgange der Schallwellen durch eine Oeffnung in einer dünnen Scheidewand Beugungserscheinungen, ähnlich wie bei dem Lichte, eintreten, daß namentlich eine Abwechselung von Maximis und Minimis der Schallstärke an verschiedenen Punkten sich zeigen müssen, darauf hat besonders Cauchy *) aufmerksam gemacht.

Theoretisch läßt sich nachweisen, daß bei einer sehr entfernten Tonquelle, wenn die Oeffnung in einer verticalen Spalte besteht, die Punkte der größten und kleinsten Schallstärke in jeder Horizontalebene sehr nahe auf verschiedenen Parabeln liegen, welche die Oberfläche der Scheidewand berühren und deren Parameter eine arithmetische Reihe bilden und der Wellenlänge proportional sind.

Da die Parameter dieser Parabeln bei den Schallwellen bis zur Größe von einigen Metern steigen können, während sie bei dem Lichte wegen der geringen Wellenlänge sehr klein bleiben, so folgt hieraus, daß der aus einer Oeffnung tretende Schall sich sehr viel stärker seitwärts ausbreitet, als das Licht. Daß die seitliche Ausbreitung einer Wellenbewegung um so schneller abnimmt, je größer die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist, daß also ein bedeutender Unterschied in dieser Beziehung zwischen dem Lichte und dem Schalle stattfinden müsse, hat auch Poisson gefunden **).

Weil die höheren Töne eine kleinere Wellenlänge haben, als die tieferen, so ist bei ihnen die seitliche Ausbreitung nothwendig schwächer, so daß, wenn verschiedene Töne von gleicher Stärke, aber ungleicher Höhe, durch eine Oeffnung treten, die höheren schneller verschwinden werden, wenn man sich parallel der Ebene der Wand von der Oeffnung entfernt. Wenn die Schallstärke dem Quadrat der Amplitude proportional gerechnet wird, so wird die Schallstärke der gebeugten Wellen, wenn man in einer der Wand parallelen Ebene sehr weit von der Oeffnung weggeht, der Wellenlänge nahe proportional sein.

---

*) Compt. rend. T. XV. p. 759. Vergl. Seebeck in Dove's Repertor. der Physik. Bd. VIII. S. 84 b.

**) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXII. p. 225.

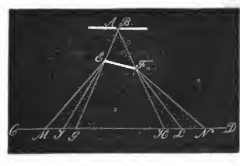
Seebeck theilt mit, daß Arago von Young die Versicherung erhalten habe, daß die Erfahrung diese Folgerungen der Theorie bestätige. Seebeck selbst führt eine Beobachtung an in Bezug darauf, daß höhere Töne bei der Beugung seitwärts schneller an Stärke abnehmen, als tiefere. Wenn man nämlich ein Ohr schließt, so hört man natürlich stärker, wenn das offene Ohr der Schallquelle zugewendet ist, als wenn es abgewendet wird. Es ist ihm nun vorgekommen, als werde das Zirpen der Grille auffallend schwach gehört, wenn das Ohr sich in der letzteren Stellung befindet, so daß also dieser sehr hohe Ton besonders auffallend abnimmt, wenn die Wellen um den Kopf des Beobachters umgebogen werden müssen, um in das offene Ohr zu gelangen.

Ueber Seebeck's Versuche, welche zu dem Resultate führten, daß bei der Beugung des Schalles zugleich mit der Richtung der Fortpflanzung auch die der Schwingung umgebogen wird, ist zu vergleichen Art. Interferenz gegen das Ende des Abschnittes von der Interferenz des Schalles.

B. Inflexion des Lichtes.

Die ersten Beobachtungen über die Inflexion des Lichtes finden wir bei Grimaldi, Professor der Mathematik zu Bologna *). Er bezeichnet die Erscheinung als Diffraction, mit welchem Worte er eine besondere, bedingende Bewegung des Lichtes charakterisiren wollte, die er als eine wellenförmige bereits erkannt hatte. Seine auch heute noch interessanten Versuche waren folgende.

Durch eine sehr kleine Oeffnung AB (s. beistehende Figur) ließ er bei heiterem Himmel Sonnenlicht in ein dunkeles Zimmer fallen, brachte in den Lichtkegel einen undurchsichtigen Körper EF und fing den Schatten desselben und das diesen einschließende Licht auf dem Fußboden auf, welchen er mit einer weißen Fläche bedeckt hatte. Hierbei fand er, daß der Schatten GH nicht nur auf beiden Seiten umgeben war von einem Halbschatten GJ und HL, sondern daß der ganze Schatten überhaupt bedeutend größer war, als er bei geradliniger Fortpflanzung des Lichtes durch die Oeffnung hätte sein sollen. Es erstreckte sich derselbe bis M und N.



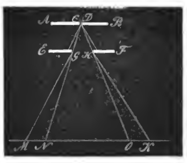
Außerdem bemerkte er auf dem den Schatten umgebenden hellen Theile MC und ND gefärbte Streifen, die in der Mitte hell, nach Innen aber, also nach M und N zu, blau und nach Außen, also nach C und D zu, roth waren. Die M und N zunächst liegenden Streifen waren die breitesten, der zweite war schmäler und noch mehr der dritte. Die Intensität des Lichtes und der Farben nahm um

*) Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride. Bononiae 1665.

so mehr ab, je weiter der Streifen von dem Schatten entfernt war. Die einzelnen Streifen selbst wurden um so breiter, je weiter die auffangende Ebene von dem Schatten werfenden Körper abstand, und je schräger das einfallende Licht auf dieselbe fiel. Die Richtung der Streifen war mit dem Schatten des dunklen Körpers parallel und der Grenzlinie des Schattens gleich gestaltet.

Bei sehr intensivem Sonnenlichte beobachtete Grimaldi die farbigen Streifen in dem Schatten selbst, aber nur dann, wenn der schattenwerfende Körper EF zwar lang, aber nicht sehr breit war. Bei sehr geringer Breite zeigte sich jeder Seits ein Streifen; nahm die Breite zu, so bildeten sich je zwei Streifen, und bei noch größerer, wobei der Körper EF aber immer noch auf beiden Seiten erleuchtet war, traten je drei Streifen auf. Die Anzahl der Streifen änderte sich übrigens auch bei demselben Körper, wozu er Platten benutzte, mit der Entfernung, in welcher sie aufgefangen wurden. Je mehr Streifen sich bildeten, desto schmaler waren sie. Wo im Schatten ein Winkel war, zeigten sich außer den eben angeführten Streifen noch kürzere, glänzende Streifen, die Grimaldi mit nach beiden Seiten überhängenden Federbüschen verglich.

Der Gegenversuch zu dem vorstehenden wurde so angestellt, daß durch eine sehr kleine Oeffnung CD eines Fensterladens AB (s. beistehende Figur) in das völlig dunkle Zimmer Sonnenlicht gelassen und in den Lichtkegel senkrecht zu der Axe desselben eine Platte EF mit einer Oeffnung GH gebracht wurde, welche kleiner war, als der Durchschnitt des Lichtkegels. Der durch diese zweite Oeffnung durchgegangene Lichtkegel wurde durch eine weiße Ebene aufgefangen, welche senkrecht zur Axe des Lichtkegels stand, und hier zeigte sich der erleuchtete Theil der Ebene nicht von der Größe, welche der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes entsprach, also nicht von der Größe NO, sondern größer und reichte bis M und K.



Ergab sich aus diesen Versuchen zwar entschieden, daß die Erscheinung weder in Reflexion noch in Refraction ihren Grund haben konnte, so war doch noch keine Veranlassung zur Annahme einer wellenförmigen Bewegung des Lichtes gegeben. Hierauf kam Grimaldi vielmehr durch folgenden Versuch, welcher als der erste Interferenzversuch angesehen werden kann.

Er leitete durch zwei kleine Oeffnungen Sonnenstrahlen in ein dunkles Zimmer so, daß die Grundflächen der Lichtkegel, welche er durch eine weiße Ebene auffing, zum Theil in einander fielen. Das beiden Grundflächen gemeinsame Segment zeigte sich hier zwar heller, als der übrige Theil derselben, die Grenze dieses Segmentes wurde aber dunkler gefunden, als solche Stellen, die eben so weit von dem Mittelpunkte der einen oder anderen Grundfläche der Lichtkegel abstanden. Wurde die eine Oeffnung geschlossen, so zeigten sich alle in gleicher Entfernung vom Mittelpunkte der einen hellen Grundfläche liegenden Stellen gleich stark erleuchtet, und somit war entschieden, daß die Wirkungen zweier zusammentreffenden Lichtbündel sich zuweilen vernichten und Dunkelheit bewirken können.

Newton wiederholte die Versuche über die Streifen im Schatten schmaler Körper und erwarb sich dadurch namentlich ein Verdienst, daß er mit einfachem farbigen Lichte experimentirte und die Breite der Streifen für verschiedene Farben maß. Die Ursache der Erscheinung wollte Newton aber in abstoßenden Kräften finden, von denen er überdies behauptete, daß sie von der materiellen Beschaffenheit des beugenden Körpers abhängig wären. Die an den Rändern des dünnen Körpers vorbeigehenden Strahlen würden um so stärker abgelenkt, je näher sie an dem Rande wären, und durch die Durchschnittspunkte der mithin verschieden stark gebeugten Strahlen entstehe eine Brennlinie, innerhalb deren kein Licht eindringen könne *).

Daß Newton's Ansicht über die Abhängigkeit der abstoßenden Kräfte von der materiellen Beschaffenheit des beugenden Körpers nicht begründet sei, dafür führte den Nachweis Flaugergues in seiner von der Akademie zu Nismes 1811 gekrönten Preisschrift **) und später (1829) Halbat ***). Auch spricht gegen Newton's Erklärung die zuerst von Du Tour ****) gemachte Beobachtung, daß die Breite der Fransen bei gleichem Abstande von dem beugenden Körper größer wird, wenn man diesen der Lichtquelle nähert. Es ist unbegreiflich, wie die Größe der abstoßenden Kraft des beugenden Körpers von dem Wege abhängen soll, welchen das Licht vor dem Zusammentreffen mit diesem Körper zurückgelegt hat.

Wie Newton, der unbegreiflicher Weise auf Grimaldi's Ansicht nicht einging, ungeachtet auch Hooke *****) die wellenförmige Bewegung des Lichtes ahndete, durch das Studium der sogenannten Newton'schen Farbenringe, deren Erklärung mit den Erscheinungen der Inflexion und Interferenz innig zusammenhängt, auf die Hypothese der Anwandlungen geführt wurde, darüber verweisen wir auf Art. Farbenringe Newton's Bd. III. S. 72.

Auf dem Newton'schen Standpunkte befanden sich noch Biot und Pouillet, als sie durch gemeinschaftliche Versuche †) entdeckten, daß bei der Anwendung einfachen Lichtes die Entfernung der farbigen Streifen von der Grenze, die der gerade fortgehende Lichtstrahl angeben würde, genau proportional ist der Länge der Anwandlungen der einzelnen Farben, oder — im Sinne der Undulationstheorie — daß die Breite der Fransen oder die Entfernung der Mitte zweier auf einander folgenden dunklen Streifen sich wie die Wellenlänge der Farbe verhält. Daß die Breite dieser Fransen im umgekehrten Verhältnisse mit der Breite der Oeffnung steht, war eine fernere Entdeckung dieser Naturforscher.

Die eigentlich gar nicht in dem Wesen der Emanationstheorie begründete, sondern ganz willkürliche Annahme der Anwandlungen mußte immer Bedenken erregen. Daher erscheint es als ein bedeutsamer Schritt, den Young that, als

*) Optice, lib. III. observ. 1. ed. Lausannae e. Genevae 1740. p. 252.

**) Journ. de Phys. T. LXXV. p. 16; T. LXXVI. p. 142. 278.

***) Ann. de Chim. et de Phys. T. XLI. p. 424.

****) Mém. de Math. et de Phys., présentés à l'acad. des sciences. Paris 1768. T. V. p. 657.

*****) Micrographia. London. p. 65. Philos. Transact. 1672 u. 1675.

†) Biot, Traité de phys. T. IV. p. 743. Eléments de Phys. par Pouillet, trois. ed. T. II. p. 295.

er 1802 die richtigen Principien der Interferenz (vergl. diesen Art.) aufgestellt hatte, nämlich die Entstehung der Beugungsstreifen aus der Interferenz der Strahlen, die an den Rändern der beugenden Körper vorbeigehen, mit denjenigen, welche in sehr schräger Richtung von denselben zurückgeworfen werden, erklären zu wollen. Es war dies zwar in einem Punkte ein Irrthum, aber das Interferenzprincip bei den Beugungserscheinungen zu Hülfe zu ziehen, war ein glücklicher Gedanke, der leider von anderen Physikern noch längere Zeit unbeachtet blieb *).

Im Jahre 1815 überzeugte sich Fresnel **), daß im Widerspruch mit Young, auf dessen Untersuchungen er erst durch Arago aufmerksam gemacht wurde, die Fransen gar nicht von der Gestalt der Ränder abhängen. Der entscheidende Versuch wurde mit zwei Stahlplatten angestellt, die einander genähert eine Spalte zum Durchgange des Lichtes bildeten. Jeder Spaltenrand war zur Hälfte abgerundet, zur Hälfte zugeschärft, und nun ergab sich die Mitte des Beugungsbildes eben so hell und die Fransen waren eben so vollkommen gerade, mochte der abgerundete Rand dem abgerundeten, oder der zugeschärfte dem zugeschärften, oder ein abgerundeter einem zugeschärften gegenüberstehen.

Fresnel hielt nun zwar an der Idee Young's fest, daß man es hier mit Interferenzphänomenen zu thun habe; erkannte aber die wahre Ursache darin, daß die Punkte des Spaltrandes Ausgangspunkte neuer Wellensysteme würden, wie auch im Eingange dieses Artikels aufgestellt worden ist. Auf diese Principien gründete er seine Rechnungen, und die Beobachtungen sowohl an einer schmalen Spalte, als an einem schmalen undurchsichtigen Körper stimmten vollkommen mit denselben überein ***).

Poisson verfolgte diese Resultate der Rechnung und kam darauf, daß eine kleine undurchsichtige Scheibe im Mittelpunkte ihres Schattens eben so erhellt sein müsse, als ob gar keine Scheibe vorhanden wäre. Arago stellte mit einem zwei Millimeter im Durchmesser haltenden Metallscheibchen, welches mit Wachs auf eine reine Glasplatte geklebt war, den hierauf bezüglichen Versuch an und fand in der That einen kleinen hellen Kreis um den Mittelpunkt ****).

Daß Fresnel die Beobachtungsmethode verbesserte, verdient auch noch erwähnt zu werden. Als Lichtquelle benutzte er den Brennpunkt einer gewöhnlichen Linse oder die Brennlinie einer Cylinderlinse; ferner fing er die Beugungsfiguren nicht mit einem Schirme auf, sondern beobachtete sie durch eine Loupe.

Arago ging auf dem von Fresnel eingeschlagenen Wege weiter †); besonders aber zeichneten sich die Beobachtungen Frauenhofer's aus über die Beugungsspectra, die durch **eine** Spalte, oder durch ein Gitter (eine Reihe

---

*) Gilb. Ann. Bd. XXXIX. S. 156. 206. 255, namentlich in Betreff der Beugung S. 196; aus: Philos. Transact. for 1802. p. 12, 387.

**) Pogg. Ann. Bd. III. S. 89, 303; vergl. auch: Bd. XXX. S. 113 u. 137. Ann. de Chim. et de Phys. T. I. p. 239. Mém. de l'Acad. roy. des Sciences. T. V. p. 339.

***) Ueber die Oerter der Maxima und Minima des gebeugten Lichtes nach den Fresnel'schen Beobachtungen s. Knochenhauer in Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 103.

****) Pogg. Ann. Bd. V. S. 246. Mém. de l'acad. des sciences de l'Institut. 1821 u 1822. T. V. p. 460.

†) Ann. de Chim. et de Phys. T. I. p. 190. 199. Pogg. Ann. Bd. XII. S. 370; Bd. XXIII. S. 288.

von gleich großen und gleich weit von einander entfernten Spaltöffnungen, durch parallel gespannte Fäden oder Drähte, oder durch parallele Linien gebildet, welche man in der Goldbelegung einer Glasplatte zieht), oder durch ein Doppelgitter (zwei sich rechtwinkelig kreuzende einfache Gitter), oder durch ein Partiegitter (mehrere gleiche, aber ungleich entfernte rechtwinkelige Oeffnungen, die sich regelmäßig in gleichen Abständen wiederholen), oder durch eine kreisförmige Oeffnung entstehen *).

John Herschel vervollständigte diese Beobachtungsreihe noch durch die Beugungserscheinungen, welche eine dreieckige Oeffnung, oder auch mehrere symmetrisch geordnete Dreiecke zeigen **).

Bis dahin hatten die Fresnel'schen Rechnungsresultate (die Intensität des gebeugten Lichtes hatte sich als von zwei Integralen abhängig ergeben) nur auf die einfachsten Fälle Anwendung gefunden, und eine allgemeine Lösung des Problems aus den Principien der Undulationstheorie schien noch weit entfernt zu sein. Da trat bereits 1835 F. M. Schwerd, Professor am Lyceum zu Speier, mit der vollständigen Lösung auf ***), und enträthselte alle wunderbaren Lichtgestalten, welche bei der Beugung des Lichtes sich zeigen. Bis in das kleinste Detail stimmt das Ergebniß der Rechnung mit der Erfahrung überein; ja es belehrt die analytische Entwickelung über alle Theile der Erscheinungen ausführlicher und gründlicher, als die besten Beobachtungen und die genauesten Messungen zu thun im Stande sind, und sie leitete sogar sehr häufig auf Entdeckungen, welche das schärfste Auge, ohne die Hülfe der Theorie, niemals gemacht haben würde. Es sagt Schwerd auch mit Recht, daß die Undulationstheorie die Beugungserscheinungen eben so zuverlässig vorhersagt, wie die Gravitationstheorie die Bewegung der Himmelskörper.

Um seine Rechnungsresultate zu prüfen, nahm Schwerd zur Lichtquelle entweder das Sonnenbildchen, welches von einem inwendig mit Asphalt geschwärzten Uhrglase reflectirt wurde, oder die Lichtlinie, welche man durch Reflexion des Sonnenlichts von einer inwendig geschwärzten Glasröhre erhält. Die beugenden Oeffnungen, mit Ausnahme der Gitter, machte er in Stanniolblättchen, welche auf Ringen befestigt wurden, die auf einer messingenen Röhre eingesetzt werden konnten. Diese Röhre paßte auf die äußere Fassung der Objectivlinse eines achromatischen Fernrohrs, welches für kleine Entfernungen ausziehbar war, und dadurch erlangte er den großen Vortheil ein dunkles Zimmer ganz entbehren zu können, indem alles fremdartige Licht von der Objectivlinse durch die aufgesetzte Röhre abgehalten wurde ****).

---

*) „Neue Modificationen des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, und Gesetze derselben" in Denkschriften der königl. Baierischen Akademie der Wissenschaften für 1821 und 1822. Bd. VIII; im Auszuge: Gilb. Ann. Bd. LXXIII. S. 207; vergl. auch: „Kurzer Bericht von den Resultaten neuerer Versuche über die Gesetze des Lichtes, und die Theorie derselben" in Gilb. Ann. Bd. LXXIV. S. 337.

**) Pogg. Ann. Bd. XXIII. S. 281. On Light. p. 491. §. 766.

***) Die Beugungserscheinungen aus den Fundamentalgesetzen der Undulationstheorie analytisch entwickelt und in Bildern dargestellt von F. M. Schwerd. Mit 18 zum Theil illuminirten Tafeln. Mannheim 1835.

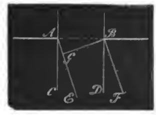
****) Ueber den Schwerd'schen Apparat zur Darstellung der Beugungserscheinungen des Lichtes vergl. Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 238.

Die Rechnungen von Schwerd gab 1839 Radicke in gedrängter Kürze *), und in demselben Jahre trugen dieselben Littrow **) und Knochenhauer ***) in die Sprache der Differentialrechnung über. Neuerdings hat E. Wilde ****) statt der complicirten Schwerd'schen Entwickelung, freilich nur für den gewöhnlichen Beobachtungsfall, wenn die parallel einfallenden Strahlen senkrecht auf der beugenden Oeffnung sind, die Formeln in einfacherer Weise entwickelt, und hierdurch die Hauptprobleme auf wenige Gleichungen zurückgeführt.

Seit Schwerd's bewunderungswürdiger Arbeit herrscht über das Beugungsphänomen — ausgenommen vielleicht bei Moon (s. unten) — kein Zweifel mehr, eben so wenig über die undulatorische Verbreitung des Lichtes. Was seitdem geschehen, betrifft — wie wir eben gesehen haben — die Umformung und bequemere Entwickelung der Schwerd'schen Formeln, und außerdem die Bearbeitung einzelner Beugungsphänomene.

Wir wenden uns jetzt zu der Erklärung der einfacheren Beugungserscheinungen, und beginnen mit dem einfachsten Falle, mit der Beugung durch eine Spalte.

Es sei A B (s. beistehende Figur) der horizontale Querschnitt einer engen verticalen Spalte. Auf dieselbe falle homogenes Licht senkrecht auf von einem möglichst entfernten Lichtpunkte, so daß man die auffallenden Strahlen als parallel ansehen kann, so werden die Lichtwellen in gleichen Phasen auf die Oeffnung treffen und nach dem Durchgange durch die Spalte — wie es für den ersten Augenblick scheint — auch alle in derselben Richtung und mit gleichen Phasen weiter gehen. Aber die einzelnen Wellen des Randes werden Ausgangspunkte neuer Wellensysteme, und daher gehen von dem Rande Aetherwellen in jeder anderen Richtung fort, nicht blos senkrecht zur Spaltöffnung. Unter diesen Randstrahlen werden sich auch solche befinden, die, wie A E und B F, parallel sind und



deren Gangunterschied A G — wenn B G senkrecht auf A E und B F ist — eine halbe Wellenlänge beträgt. Eine Folge hiervon muß sein, daß diese Randstrahlen — und dies gilt auch von den ihnen zunächst liegenden, da diese fast denselben Gangunterschied haben werden, — sich in ihrer Wirkung aufheben, also vollständig interferiren. Betrachtet man nun die Spalte nach der Schwerd'schen Methode durch ein Fernrohr, so werden zwar die senkrecht zur Spalte fortgegangenen Strahlen in dem Brennpunkte des Objectivglases ein helles Bild geben, welches das Auge durch das Ocular des Fernrohres vergrößert erblickt; aber die

---

*) Handbuch der Optik. Berlin 1839; vergl. auch Dove's Repert. der Phys. Bd. III. S. 237.

**) Gehler's phys. Wörterb. N. A. Bd. IX. Art. Undulation.

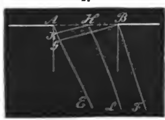
***) Die Undulationstheorie des Lichtes. Berlin 1839.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 75 u. 202.

nicht senkrecht fortgehenden Strahlen, deren Gangunterschied eine halbe Wellenlänge beträgt, werden seitwärts von dem Bilde der senkrecht auffallenden Strahlen eine Lichtschwächung veranlassen, wiewohl noch keine dunkle Stelle, da immer noch wirksame Strahlen übrig bleiben.

Nehmen wir jetzt an, daß der Gangunterschied der Randstrahlen AE und BF (s. beistehende Fig. I.), also AG, eine ganze Wellenlänge betrage; so werden alle Strahlen, welche durch die Beugung diese Richtung erhalten haben, ihre Wirkung aufheben, also vollständig interferiren.

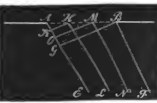
I.



Denn theilen wir dies ganze Strahlenbündel durch HL in zwei gleiche Theile, so beträgt der Gangunterschied von AE und HL, also AK, eine halbe Wellenlänge, so daß sich diese beiden Strahlen vernichten. Wären zwischen A und B 100 solcher Strahlen, AE der erste, HL der 50., so gälte Dasselbe von dem 2. und 51., dem 3. und 52. u. s. f. Es muß mithin an der Stelle des Bildes im Brennpunkte, an welcher sich die bezeichneten Strahlen zu einem Punkte vereinigen, eine dunkle Unterbrechung eintreten.

Zwischen anderen Randstrahlen wird der Gangunterschied drei halbe Wellenlängen betragen. Theilen wir daher das entsprechende Strahlenbündel durch HL und MN (s. beistehende Fig. II.) in drei gleiche Theile; so beträgt der Gangunterschied zwischen AE und HL, also AK, eine halbe Wellenlänge, eben so zwischen HL und MN, desgleichen zwischen MN und BF. Vergleichen wir diesen Fall mit dem vorhergehenden, so ergiebt sich, da zwischen AE und MN, oder zwischen HL und BF ein Gangunterschied von einer ganzen Wellenlänge stattfindet, daß zwei Drittel aller dieser Strahlen sich vollständig vernichten, mithin nur ein Drittel wirksam bleibt.

II.



An der Stelle des im Brennpunkte beobachteten Bildes, an welcher diese Strahlen sich vereinigen, ist also keine Dunkelheit, aber eine geringere Intensität, als an der Stelle, an welcher sich die Randstrahlen vereinigten, deren Gangunterschied eine halbe Wellenlänge betrug.

Durch Fortsetzung dieser Betrachtung kommen wir zu dem Resultate, daß Randstrahlen, deren Gangunterschied eine gerade Anzahl halber Wellenlängen beträgt, sich vollständig vernichten, daß also dunkle Stellen entstehen, unterbrochen von nicht dunkelen, aber von der Mitte aus an Intensität nach beiden Seiten abnehmenden, welche den Randstrahlen entsprechen, deren Gangunterschied eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen ausmacht.

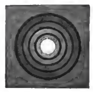
III.



Man übersieht nun, wie im Allgemeinen die Erscheinung bedingt ist, welche man durch eine schmale Spalte beobachtet. Wir geben hier (Fig. III.) eine Abbildung des Phänomens in homogenem Lichte, und

bemerken hierbei zugleich, daß für verschiedene Farben die Streifen verschiedene Breite zeigen. Für rothes Licht ist das Spectrum bei derselben Anzahl von Streifen am breitesten, für violettes Licht am schmalsten.

I.



Nimmt man statt der Spalte eine kleine kreisförmige Oeffnung, so ergiebt sich das Beugungsbild im Allgemeinen durch eine ganz gleiche Betrachtung; es genügt daher von demselben die nebenstehende Abbildung (Fig. I.), bestehend aus einem hellen Flecke mit concentrischen Ringen, da die Strahlen rings um den Rand überall in derselben Weise gebeugt werden.

Ist die beugende Oeffnung parallelogrammartig, wie abcd (s. die beistehende Fig. II.), so lassen sich die gegenüberstehenden Seiten als Ränder einer Spalte ansehen; und ist ef senkrecht auf ab und cd, eben so gh auf bc und ad, so leuchtet ein, daß man sowohl in der Richtung ef, als in der Richtung gh ein Spectrum erhält. Es sei hierbei nur noch hervorgehoben, daß das Beugungsspectrum um so breiter wird, je schmäler die Beugungsöffnung ist, daß also hier diese Breite von der Entfernung der gegenüberstehenden Seiten abhängt. Die beistehende Fig. III. bringt dies Beugungsbild zur Anschauung.

II.

III.

Da die drei Dreiecksseiten auf drei senkrechte Richtungen führen, so übersieht man, daß im Allgemeinen eine dreieckige Beugungsöffnung einen sechseckigen Stern als Beleuchtungsfigur bedingt.

Die Beugungsfigur einer parallelogrammartigen Oeffnung besteht nicht aus den beiden unveränderten Spectren, sondern man bemerkt an derselben noch dunkle Unterbrechungen. Dies hat seinen Grund darin, daß sich die beiden Spectren zum Theil übereinander legen. Wo nämlich dunkle Stellen beider Spectren auf einander treffen, wird offenbar keine helle Stelle erzeugt werden können, weil die Strahlen jedes Spectrums sich bereits unter einander vernichteten. An den Stellen aber des einen Spectrums, welche hell sind, kann durch das Auftreffen einer ebenfalls hellen Stelle des anderen Spectrums ein solcher Gegensatz in der Vibration des Aethers stattfinden, daß eine vollständige Interferenz die Folge hiervon sein muß, und es wird mithin an diesen Stellen ebenfalls Dunkelheit eintreten. Da nun an anderen hellen Stellen der Gegensatz nicht dieser Art sein wird, entweder noch eine gewisse Vibrationsintensität als Rest bleibt, oder die in gleichem Sinne erfolgenden Vibrationen sich summiren; so müssen dunkle Streifen oder Fransen entstehen, welche die einfachen Spectren durchschneiden.

Ein gleicher Vorgang muß stattfinden, sobald sich überhaupt mehrere Spectren durchschneiden, also namentlich wenn die Beugungsbilder mehrerer Oeffnungen in einander treffen. Die so entstandenen kleineren Spectra nennt Frauenhofer im Gegensatze zu den Spectren erster Klasse, welche einzelne einfache Beugungsöffnungen zeigen, Spectra zweiter Klasse, durch Durchkreuzung zweier Spectren, Spectra dritter Klasse, durch Durchkreuzung dreier Spectren entstanden u. s. f.

Bis jetzt sind wir davon ausgegangen, daß homogenes Licht zur Erzeugung des Beugungsphänomens benutzt werde. Da wir nun oben bereits bemerkt haben, daß die Spectra für die verschiedenen Farben bei derselben Spalte verschiedene Breite zeigen, so können bei Anwendung von weißem Lichte, weil dies (s. Art. Farbe Bd. III. S. 24) eine Zusammensetzung aller verschiedenen Farben ist, die dunklen und hellen Stellen (die Minima und Maxima der Lichtstärke) für die verschiedenen Farben nicht zusammenfallen. Mit Ausnahme der Mitte wird man mithin selbst bei einer einfachen Spalte nirgends Weiß erblicken und eben so wenig an irgend einer Stelle völlige Dunkelheit wahrnehmen, überall werden Farbentöne auftreten, in welchen diejenigen Farben vorherrschen, welche an der betreffenden Stelle gerade einen hellen Streifen bilden würden.

Wir verfolgen dies hier nicht weiter, da im Art. Farbenringe Newton's *) die erforderliche Erläuterung bereits gegeben ist; nur das wollen wir noch hervorheben, daß die violetten Streifen der einzelnen Farbenbänder der Mitte näher stehen, als die rothen, weil dies in vielen Fällen einen Anhalt gewährt, um eine Erscheinung als ein Beugungsphänomen zu erkennen (vergl. Art. Hof).

Da die Beugungserscheinungen von dem Gangunterschiede der gebeugten Strahlen abhängen und ins besondere von der Anzahl halber Wellenlängen, welche dieser Gangunterschied beträgt; so werden diese Erscheinungen ein sicheres Mittel bieten, die Länge der Lichtwellen zu bestimmen.

Man bringe die beugende Spalte vor das Objectiv des Fernrohres eines Theodolithen, mit welchem man die Winkel noch bis auf eine Secunde bestimmen kann, und messe nun die Winkelabstände der dunklen Streifen von der Mitte des Beugungsbildes, indem man zuerst den verticalen Faden des Fadenkreuzes genau auf die Mitte des Bildes einstellt und dann durch horizontale Drehung mit dem ersten, zweiten u. s. w. dunklen Streifen zusammenfallen läßt. Durch Ablesung auf dem horizontalen Theilkreise des Theodolithen erhält man die Größe der Drehung.

Schwerd **) erhielt, als er mit homogenem rothen Lichte experimentirte, welches er sich durch ein rothes Glas verschafft hatte, für eine Spalte von 1,353 Millim. Breite für die dunklen Streifen folgende Winkelabstände von der Mitte des Beugungsbildes.

Dunkler Streifen:	1.	2.	3.	4.
Winkelabstand:	1′ 41″.	3′ 18″.	4′ 55″.	6′ 27″,

woraus sich als Mittel für den Winkelabstand zweier auf einander folgenden dunklen Streifen der Werth 1′ 38,1″ ergiebt.

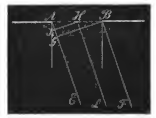
*) Bd. III. S. 80 u. 81; vergl. auch S. 68 ff. die Entwickelung nach Newton's Theorie.

**) A. a. O. S. 32.

Mit einer anderen Spalte von 1,274mm Breite erhielt er, ebenfalls für rothes Licht:

1.	2.	3.	4.	Mittel
1′ 47″.	3′ 38″.	5′ 17″.	6′ 55″.	1′ 45,″7.

Eine dritte Beobachtungsreihe gab als Mittel 3′ 7″ für eine Spalte von der Breite 0mm,689.



Da nun für den ersten dunklen Streifen (s. nebenstehende Figur) AG der Wellenlänge gleich sein muß, aber auch AG = AB . sin ABG ist, so erhält man AG = 1,353 . sin 1′ 38″,1 nach der ersten Beobachtungsreihe, AG = 1,274. sin 1′ 45″,7 nach der zweiten, und AG = 0,689. sin 3′ 7″ nach der dritten; es beträgt also die Wellenlänge für rothes Licht 0mm,000643, oder 0mm,000653 oder 0mm,000625, mithin im Mittel 0mm,000640.

Es muß hier genügen, diesen Weg zur Ermittelung der Wellenlängen bezeichnet zu haben; wegen der Resultate, welche sich in dieser Beziehung ergeben haben, verweisen wir auf Art. Farbenringe Newton's Bd. III. S. 79. Doch wollen wir nicht verabsäumen, hier noch die Ergebnisse anzuführen, welche Robert *) durch seine Interferenz-Spectrumplatte gefunden hat. In Millionstein von Pariser Linien erhielt er in der Luft für:

sehr tief roth	338	blaugrün	223
tief roth	328	blau	211
hellorange	281	indigo	199
schwefelgelb	258	violett	187
schön grün	234	sehr tief violett	176

woraus sich als Mittel für die Wellenlängen in der Luft 0,‴0002435 herausstellt **).

Ob die Lichtbeugungsphänomene auch im leeren Raume eintreten, diese Frage haben Flaugergues ***) und Magnus ****) zu erledigen gesucht. Jener kittete auf den Boden einer gläsernen Flasche, die plane und parallele Wände hatte, eine viereckige messingene Platte und befestigte in dem Halse derselben eine etwa 30 Zoll lange Röhre. Diesen Apparat setzte er der Sonne aus und beobachtete den Schatten der Platte in verschiedenen Entfernungen. Darauf füllte er die Flasche und ihre Röhre mit Quecksilber, suchte alle Luft fortzuschaffen und drehte alsdann den Apparat um, indem er das offene Ende der Röhre mit dem Finger schloß und unter Quecksilber brachte. Beobachtete er wieder den Schatten, so zeigte sich dieselbe Erscheinung wie früher. Hiergegen läßt sich einwenden, daß das gebildete Torricelli'sche Vacuum wohl nicht ganz luftleer sein könnte;

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 90.

**) Ueber die Wellenlängen und Oscillationszahlen der farbigen Strahlen im Spectrum ist auch zu vergleichen Drobisch in Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 519.

***) Journ. de phys. par Delamétherie. 1812. T. LXXV. p. 16.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 408.

außerdem fanden die Beugungserscheinungen gar nicht im luftleeren Raume statt, sondern in der hinter der angewandten Flasche befindlichen Luft; auch war die Messung des Schattens keineswegs genau genug, um zu entscheiden, ob die Fortpflanzung des Lichtes durch die Flasche eine wellenförmige gewesen sei oder nicht.

Magnus brachte in ein Gefäß aus Glas, welches er ebenfalls mit Quecksilber gefüllt hatte, so daß es den Raum des Torricelli'schen Vacuums einnahm, die Beugungsspalte im Innern an und verlegte eben so den leuchtenden Punkt in den leeren Raum. Dies wurde dadurch erreicht, daß zwei ganz schmale Spaltöffnungen (Diaphragmen) in einer Entfernung von 4 Linien hinter einander angebracht wurden. Die eine bildete gleichsam eine leuchtende Linie, welche ihr Licht auf die andere sandte. Hierbei zeigten sich in dem leeren Raume, sowohl bei homogenem, als bei weißem Lichte, die Streifen und zwar mit derselben Schärfe und Intensität, wie in dem mit Luft erfüllten Raume, und zwar sah man durch eine dicht an das Glas gehaltene Loupe die Streifen ganz dicht in dem Brennpunkte derselben, der offenbar innerhalb des leeren Raumes lag. — In dem Torricelli'schen Vacuum, so weit wir dies als leer ansehen dürfen, erfolgen hier noch die Beugungserscheinungen eben so, wie in Luft.

Die Beugungsphänomene — die dabei auftretenden Farben nennt Goethe *) paroptische — zu beobachten bieten sich vielfache Gelegenheiten, z. B. wenn man durch die Fahne einer Vogelfeder nach einem Lichtpunkte sieht, wozu sich namentlich die Flügel- oder Schwanzfedern kleiner Vögel eignen, eben so wenn man seine maschige Zeuge, z. B. Mousselin, Flor, feines Drahtgewebe vor ein Fernrohr bringt, ins Besondere wenn man diese Zeuge doppelt legt. Man bemerkt die Beugungserscheinungen schon, wenn man mit blinzendem Auge, also durch die Haare der Augenbraunen, nach einem nicht zu nahen, stark leuchtenden Punkte, z. B. nach einem Sterne sieht, desgleichen wenn man durch die feinen Haare der Hüte oder durch Spinngewebe nach der Sonne blickt. Eine mit feinem Staube, z. B. mit semen lycopodii bestreute oder zart behauchte Glasscheibe zeigt, wenn man durch dieselbe eine Kerzenflamme ansieht, eine Glorie, die nichts anderes als ein Beugungsphänomen ist, worüber der Art. Hof zu vergleichen ist. Aus den Gesetzen der Beugung sind auch die dunklen Streifen zu erklären, welche man zwischen den eng an einander geschlossenen gestreckten Fingern, zwischen den nicht genau schließenden Schneiden einer Scheere, überhaupt durch jede enge Spalte wahrnimmt, wenn man durch dieselbe ins Helle sieht.

Im reflectirten Lichte sieht man die Erscheinungen der Beugung auf gleiche Weise, wie sie im directen bemerkt werden; doch sind dieselben mehr zu den Erscheinungen zu rechnen, welche im Art. Farbenringe Newton's besprochen sind **). Wir wollen indessen an dieser Stelle noch aufmerksam machen auf die von Barton ***) erfundenen irisirenden Knöpfe, welche aus polirtem,

*) Vergl. Art. Farbe. Bd. III. S. 44.
**) Vergl. Bd. III. S. 57 u. 58. Nr. 3.
***) Gilbert's Ann. Bd. LXXIV. S. 379. Edinburgh. phil. Journ. T. XV. p. 128.

in verschiedene Felder getheiltem, Metalle bestehen und wobei die einzelnen Felder mit höchst nahen und feinen parallelen Linien eingeschnitten sind. Das reflectirte Tageslicht zeigt bei diesen Knöpfen die prismatischen Farben, das reflectirte Sonnenlicht wirft gegen eine Wand eine aus zahllosen solchen Farben bestehende Scheibe. Die Farben sind um so schöner, je mehr Linien genau parallel neben einander in einem gleich großen Raume gezogen sind. Barton vermochte 10000 derselben in dem Raum eines Zolles zu ziehen. Schon Young erkannte, daß es sich hier um Interferenzen von Lichtbündeln handelt, von denen das eine an der einen, das andere an der anderen Seite der Furche zurückgeworfen wird.

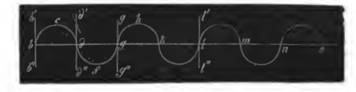
Der Mechanikus Hoffmann in Leipzig hat in einer Stahlplatte mittelst eines Diamanten außerordentlich enge Linien in gleichen Abständen gezogen und dieselbe so in eine Kapsel eingeschlossen, daß nur durch eine schmale Oeffnung das Sonnenlicht auf sie fällt. Durch ein Rohr sieht man nach der Stahlplatte, und wie diese durch Drehung gegen das einfallende Licht anders und anders gestellt wird, folgen sich die schönsten Farbenerscheinungen. Hoffmann nennt dies Instrument Chromadot (s. d. Art.), Brandes *) möchte es lieber Inflexioskop genannt wissen, womit indessen bereits ein von Joh. Tob. Mayer angegebenes Instrument **) bezeichnet wird, welches jetzt jedoch von keinem besonderen Werthe mehr ist. — Robert's bereits oben erwähnte Interferenz-Spectrumplatte wollen wir an dieser Stelle wenigstens nochmals ins Gedächtniß zurückrufen, da man mit derselben das Interferenzphänomen hervorbringen kann sowohl durch Interferenz in der Luft, als auch durch Interferenz im Glase selbst.

Erwähnen wollen wir noch ein Beugungsphänomen, welches Powell ***) beschreibt. Ein leuchtender Punkt sendet seine Strahlen auf eine kleine undurchsichtige Scheibe, und man sieht dann vermittelst eines Fernrohrs leuchtende Strahlen von dem Rande der Scheibe nach dem Centrum hin gehen und sich dort in einen hellen Fleck vereinigen. Die Erscheinung wird nicht bemerkt, wenn der Rand der Scheibe polirt ist, und rührt also von Interferenzen her, welche durch die Unebenheiten des Randes hervorgerufen werden.

Wegen der Wichtigkeit der Beugungserscheinungen für die Undulationstheorie des Lichtes lassen wir im Folgenden noch die mathematische Entwickelung folgen, zumal das Detail der Erscheinung ohne dieselbe gar nicht erkannt werden kann. Um indessen die Darstellung nicht zu weit auszudehnen, werden wir uns nach Wilde (a. a. O.) auf den gewöhnlichen Beobachtungsfall beschränken, wenn die parallel einfallenden Strahlen senkrecht auf der beugenden Oeffnung sind. Die Literatur für diejenigen, welche den betreffenden Gegenstand allgemeiner kennen lernen wollen, ist bereits oben gegeben.

*) Brandes in Gehler's phys. Wörterbuche. N. B. Bd. IV. S. 101.
**) Comment. recent. societ. reg. Gotting. T. IV. Class. math. p. 49.
***) Instit. No. 676. p. 422; Sillim. Journ. 1846. T. III. p. 277.

Es sei in beistehender Figur b o die Richtung eines Lichtstrahls, so machen nach der Undulationstheorie alle auf dieser Richtung befindlichen Aethermolecüle b, d, g . . . Schwingungen, welche senkrecht auf b o sind. Das Aethermolecül



z. B., dessen Gleichgewichtslage in b ist, bewegt sich mit abnehmender Geschwindigkeit nach b′, wo es seine größte Entfernung von der Gleichgewichtslage und die Geschwindigkeit Null hat, kehrt hierauf mit zunehmender Geschwindigkeit nach b zurück, wo es das Maximum der Geschwindigkeit erreicht, weicht mit abnehmender Geschwindigkeit bis b″ aus, und kehrt dann nach der Gleichgewichtslage in b zurück, wo es wieder im Maximum seiner Geschwindigkeit ist. Dieser Weg des Molecüls von b bis b′, von hier zurück bis b″ und von da wieder bis b ist eine Schwingung, Oscillation oder Vibration, während man unter seiner Schwingungsweite oder Amplitude seine größte Ausweichung bb′ oder bb″ aus der Gleichgewichtslage versteht. Die Zeit zu einer Oscillation heißt die Schwingungs- oder Oscillationsdauer, und die an jeder Stelle einer Oscillation verschiedene Geschwindigkeit des Molecüls seine Oscillationsgeschwindigkeit.

Ungeachtet der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes von gegen 42000 deutschen Meilen in der Secunde vergeht doch einige Zeit, bis die bei b beginnende Bewegung des Aethers sich bis zu dem Molecül g in solcher Weise erstreckt, daß beide Molecüle b und g übereinstimmende Schwingungen machen, so daß beide von b und g ausgehend in ein und demselben Augenblicke ihre größten Ausweichungen in b′ und g′, desgleichen in b″ und g″ erreichen ꝛc. Dann hat das Molecül b schon eine ganze Schwingung vollendet, wenn die Bewegung in g erst beginnt. Hat l dieselbe Lage gegen g, welche g gegen b hat, so hat b zwei Schwingungen und g eine gemacht, wenn l erst zu schwingen beginnt. Die Entfernungen bg, gl . . . heißen Wellenlängen, die für verschiedene Farben verschieden sind, und zwar für die rothe am längsten, und für die violette am kürzesten, wie schon Newton *) gefunden hat.

Ein leuchtender Punkt oder Lichtpunkt ist ein solcher, von dem die oscillirende Bewegung der auf einander folgenden Aethermolecüle ausgeht. Weiß heißt ein leuchtender Punkt, wenn die von ihm angeregten Aetherschwingungen gewissermaßen unendlich verschiedene Wellenlängen haben, weil Weiß der Inbegriff aller Farben ist, und jede Farbe eine andere Wellenlänge hat; homogen wird ein leuchtender Punkt genannt, wenn die Wellenlängen aller von ihm ausgehenden Aetherschwingungen gleich sind.

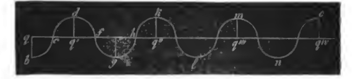
Ein geometrischer Lichtstrahl (Elementarstrahl) ist eine Reihe

*) Opt. lib. II. pars 4.

von Aetherschwingungen, die in einer bestimmten Richtung auf einander folgen; ein physischer Lichtstrahl oder ein Wellensystem aber ein Aggregat von so vielen geometrischen Lichtstrahlen, daß sie einen Eindruck auf die Netzhaut machen können.

Ein Lichtstrahl heißt ein natürlicher oder unpolarisirter, wenn die in demselben nach einander folgenden Aethermolecüle in allen denkbaren Richtungen schwingen; polarisirt hingegen, wenn die Schwingungen aller zu ihm gehörigen Aethermolecüle einander parallel sind. Aehnlich oder gleichartig polarisirt sind zwei oder mehrere in derselben Richtung sich fortpflanzende Lichtstrahlen, wenn in ihnen die Aetherschwingungen in parallelen Richtungen erfolgen; bilden die Schwingungen aber einen spitzen oder stumpfen Winkel, so heißen solche Strahlen unähnlich oder ungleichartig polarisirt, und senkrecht aufeinander polarisirt nennt man sie, wenn ihre Schwingungen senkrecht auf einander sind.

Eine Curve, welche die gegenseitige Lage der Aethermolecüle eines Lichtstrahls in einem bestimmten Augenblicke und für einen bestimmten Ort des leuchtenden homogenen Punktes vorstellt, kann man Amplitudencurve nennen. Von ihr ist die Geschwindigkeitscurve zu unterscheiden, deren Ordinaten der gleichzeitigen Oscillationsgeschwindigkeit der auf einander folgenden Aethermolecüle proportional sind. Hätte z. B. der homogene Lichtpunkt b in der vorhergehenden Figur S. 69 zwischen b' und b'' $3^1/_2$ Schwingungen von b aus gemacht, so daß er im Zustande seiner größten Geschwindigkeit von oben nach unten durch b geht, so kann man, wenn die Richtung von oben nach unten als negativ bezeichnet wird, das negative Geschwindigkeitsmaximum des Molecüls b durch die Ordinate q b (s. die beistehende Figur) vorstellen, die gleichzeitige Geschwindigkeit Null des Molecüls c durch die Ordinate Null, das gleichzeitige positive Geschwindigkeitsmaximum des



Molecüls d durch die Ordinate q'd u. s. f. In ähnlicher Weise, wie hier die Curve b c d f g . . . (in beistehender Figur) die Geschwindigkeit der einzelnen Molecüle in dem angenommenen Augenblicke darstellt, kann man für jeden anderen Schwingungszustand des ersten Molecüls die Geschwindigkeitscurve construiren. Wie man sieht, wird die Richtung b o des Strahles von der Geschwindigkeitscurve in denselben Punkten c, f, h . . . geschnitten, in denen die Amplitudencurve am weitesten von b o entfernt ist.

Denkt man aus dem homogenen Lichtpunkte b der vorhergehenden Fig. S. 69 mit den Radien b g, b i . . . Kugelflächen beschrieben, so sind die auf einander folgenden Aethermolecüle zwischen b und der ersten Kugelfläche, zwischen dieser und der nächstfolgenden ꝛc. zu gleicher Zeit in allen möglichen Schwingungszuständen. Der zwischen zwei solchen Kugelflächen, die um eine Wellenlänge von einander abstehen, bewegte Aether bildet eine Aetherwelle oder Undulation, in



welcher rings um den Störungsmittelpunkt b die in gleichen Entfernungen oscillirenden Molecüle in gleichen Schwingungszuständen sind.

Ist nun die Oscillationsgeschwindigkeit eines homogenen leuchtenden Punktes v und seine Ausweichung s, so läßt sich, wenn p die beschleunigende Kraft, welche den Punkt nach seiner Gleichgewichtslage treibt, und t die Zeit bedeutet, welche seit dem Beginne der Schwingungen verfloß, v und s aus folgenden, auch für das Pendel maßgebenden Gleichungen ableiten:

$$v = \frac{ds}{dt},\ p = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}.$$

Man erhält nämlich, da v abnimmt, wenn s wächst und umgekehrt, und da p in einer Richtung wirkt, welche derjenigen, in welcher s zunimmt, entgegengesetzt ist:

$$v = -\frac{ds}{dt},\ p = A.s = -\frac{d^2s}{dt^2},$$

wo A einen constanten Factor bedeutet, weil, wie bei kleinen Pendelschwingungen, p der Entfernung s proportional gesetzt werden kann.

Multiplicirt man die zweite Gleichung mit 2 . ds, so ist:

$$-2A.s.ds = \frac{2\,ds\,.\,d^2s}{dt^2},$$

und, wenn man jetzt integrirt:

$$-A.s^2 + \text{Const.} = \left(\frac{ds}{dt}\right)^2 = v^2.$$

Da die Oscillationsgeschwindigkeit v = Null wird für s = bb′ = a, so ergiebt sich die Constante = A . a², und folglich ist:

$$v = -\frac{ds}{dt} = A^{1/2}(a^2 - s^2)^{1/2},\ \text{woraus}$$

$$dt = -\frac{ds}{A^{1/2}(a^2 - s^2)^{1/2}},\ \text{und}$$

$$t + \text{Const.} = \frac{1}{A^{1/2}}\ \text{arc. cos}\ \frac{s}{a}.$$

Rechnet man nun die Zeit t von dem Augenblicke an, in welchem die Schwingungen von b ausgingen, und s = o war, so ist die Constante $= + \frac{\pi}{2A^{1/2}}$, und man hat daher, wenn für die Ausweichung des Aethermolecüls aus seiner Gleichgewichtslage nur der positive Werth genommen wird:

$$s = a\ .\ \cos\left(A^{1/2}\,t - \frac{\pi}{2}\right) = a\ .\ \sin A^{1/2}\,t.$$

Ist ferner T die Schwingungsdauer des homogenen leuchtenden Punktes, so macht er eine halbe Schwingung von b bis b′ und wieder zurück bis b, für welchen Punkt wieder s = o ist, in der Zeit $\frac{T}{2}$. Für diesen Werth von t hat man also:

$$o = a \,.\, \sin A^{1/2} \frac{T}{2}, \text{ folglich:}$$

$$A^{1/2} \frac{T}{2} = \pi, \text{ und } A^{1/2} = \frac{2\pi}{T}, \text{ daher}$$

$$(1) \qquad s = a \sin \frac{2\pi t}{T} \text{ und}$$

$$(2) \qquad v = A^{1/2} (a^2 - s^2)^{1/2} = \frac{2 a \pi}{T} \left(1 - \sin^2 \frac{2\pi t}{T}\right)^{1/2}$$

$$= \frac{2 a \pi}{T} \cos \frac{2\pi t}{T},$$

wenn für die Oscillationsgeschwindigkeit des Aethermoleculs auch nur der positive Werth genommen wird.

Wird die gleichförmige Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes von 42000 Meilen in der Secunde mit V bezeichnet, so wird die Zeit $\frac{x}{V}$ erforderlich sein, damit die Schwingungen sich von dem leuchtenden Punkte bis zu dem Aethermolecül in der Entfernung x fortpflanzen können, da $V : x = 1$ Sec. : $\frac{x}{V}$ Sec. ist, so daß also vor der Zeit $\frac{x}{V}$ der leuchtende Punkt denselben Schwingungszustand hatte, den das Aethermolecül im letzten Augenblicke dieser Zeit erst erhält. Vor der Zeit $\frac{x}{V}$ aber war die Ausweichung des leuchtenden Punktes aus der Gleichgewichtslage, wenn er seine Schwingungen die Zeit t hindurch fortgesetzt hat, aus (1):

$$s = a \,.\, \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{V}\right),$$

und seine Oscillationsgeschwindigkeit aus (2):

$$v = \frac{2 a \pi}{T} \cos \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{V}\right).$$

So lange sich ein Strahl durch ein gleichartiges Mittel fortpflanzt, wird die Schwingungsdauer T dieselbe bleiben und auch die einer bestimmten Farbe zugehörige Wellenlänge λ in jeder Entfernung von der Lichtquelle einen und denselben Werth behalten; es ist folglich die Ausweichung eines in der Entfernung x vom leuchtenden Punkte (aus der Richtung des homogenen Strahles) befindlichen Aethermolecüls:

$$(3) \qquad s' = a' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right),$$

und die Oscillationsgeschwindigkeit:

$$(4) \qquad v' = \frac{2 a' \pi}{T} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right),$$

wo statt a gesetzt ist a', weil anzunehmen ist, daß sich in größeren Entfernungen von dem homogenen leuchtenden Punkte die Schwingungsweite a eines zu demselben gehörigen Strahles ändert, und in den kleineren Werth a' übergeht.

Aus den Gleichungen (2) und (4) ergeben sich die größten Werthe der Oscillationsgeschwindigkeit eines leuchtenden Punktes oder Aethermoleculs $\frac{2a\pi}{T}$ und $\frac{2a'\pi}{T}$. Man nennt diese Coefficienten die Vibrationsintensität, und die rectificirten Bogen $\frac{2\pi t}{T}$ oder $2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)$, deren Halbmesser 1 ist, die Phasen zur Zeit t, weil der Schwingungszustand eines leuchtenden Punktes oder Aethermoleculs von diesem Bogen abhängt.

Aus den Gleichungen (3) und (4) geht hervor, daß zwar die Vibrationsintensität $\frac{2a'\pi}{T}$ eines Aethermoleculs von seiner Schwingungsdauer T, also auch von seiner Wellenlänge $\lambda = V \cdot T$ abhängig sei, daß aber die Schwingungsweite $s' = a'$ von der Wellenlänge nicht abhänge. Es kann also auch die Schwingungsweite der Molecüle viel kleiner, als der vierte Theil der Wellenlänge, und eine ganze Schwingung eines Molecüls viel kleiner, als die ganze Wellenlänge sein.

Unter dem Gangunterschiede zweier Strahlen von gleichen Wellenlängen oder der Verzögerung des einen gegen den anderen versteht man die Zahl der Wellenlängen oder gewisser Theile derselben, um welche der eine gegen den anderen zurückgeblieben ist, entweder weil er sich langsamer als der andere bewegt, oder weil er einen längeren Weg von der Lichtquelle aus zurückgelegt hat. Der Gangunterschied zweier Strahlen hängt mit ihrem Phasenunterschiede so zusammen, daß die Phase sich für jede Wellenlänge um 2π ändert. Ist λ die Wellenlänge beider Strahlen und δ der Unterschied in ihren Wegen, so hat ihr Gangunterschied $\frac{\delta}{\lambda}$ Wellenlängen, ihr Phasenunterschied aber ist $\frac{2\pi\delta}{\lambda}$. Man erhält also den Phasenunterschied aus dem Gangunterschiede, wenn man letzteren mit 2π multiplicirt.

Der Eindruck, welchen ein und derselbe homogene Strahl mit der Wellenlänge λ in verschiedenen Entfernungen von der Lichtquelle auf die Netzhaut macht, oder seine Intensität oder Lichtstärke, wird, gemäß den bekannten Gesetzen der Mechanik über den Widerstand, dem Quadrate seiner Vibrationsintensität in beiden Entfernungen proportional sein. Ist die Vibrationsintensität $v = \frac{2a'\pi}{T}$ für die Entfernung 1, und $v' = \frac{2a''\pi}{T}$ für die Entfernung x, so verhalten sich also die Intensitäten J und J', wie $v^2 : v'^2$. Weil aber in den Werthen von v und v' nur die Schwingungsweiten a' und a'' verschieden sind, so verhalten sich die Intensitäten eines homogenen Strahles in verschiedenen Entfernungen von der Lichtquelle auch wie die Quadrate seiner Schwingungsweiten. Wird daher die Intensität J für die Schwingungs-

weite $a' = 1$ zur Einheit genommen, so ist, wenn die Schwingungsweite den Werth a'' erhalten hat, die Intensität $J' = a''^2$. Es kann also die Intensität eines homogenen Strahles durch das Quadrat seiner Schwingungsweite bestimmt werden.

Die Bewegung, die ein Aethermolecül durch beliebig viele in parallelen Richtungen wirkende Anregungen erhält, ist in Folge des Princips der Coincidenz kleiner Bewegungen der algebraischen Summe der einzelnen Anregungen gleich. Wirken daher auf ein Aethermolecül gleichzeitig zwei ähnlich polarisirte und gleichfarbige Wellensysteme ein, solche also, deren Schwingungen parallel und deren Wellenlängen gleich sind, und ist die Ausweichung aus der Gleichgewichtslage für das eine System:

$$s = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) = a \, . \, \sin \xi,$$

und für das andere, wenn $\frac{\delta}{\lambda}$ den Gangunterschied beider, folglich $\frac{2\pi\delta}{\lambda} = \beta$ ihren Phasenunterschied bedeutet,

$$s' = a' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} - \frac{\delta}{\lambda}\right) = a' \sin (\xi - \beta),$$

so ist die resultirende Ausweichung des von beiden Schwingungen angeregten Aethermolecüls:

$$(5) \quad S = s + s' = (a + a' \cos \beta) \sin \xi - a' \sin \beta \cos \xi,$$

und, wenn man $a + a' \cos \beta = A \cos \gamma$ und $a' \sin \beta = A \sin \gamma$ setzt:

$$S = A \sin \xi \cos \gamma - A \cos \xi \sin \gamma = A \sin (\xi - \gamma).$$

Es ist also A die aus dem Zusammentreffen der beiden Schwingungen resultirende Schwingungsweite, und ihr Quadrat oder die Intensität des von beiden Schwingungen angeregten Aethermolecüls:

$$(6) \quad J = A^2 (\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma) = a^2 + a'^2 + 2 a a' \cos \beta,$$

der Winkel γ aber bestimmt durch die Gleichung:

$$\text{tgs}\, \gamma = \frac{A \sin \gamma}{A \cos \gamma} = \frac{a' \sin \beta}{a + a' \cos \beta}.$$

Man erhält daher die Intensität eines von zwei ähnlich polarisirten und gleichfarbigen Strahlen angeregten Aethermolecüls, wenn man zur Summe der Quadrate der Schwingungsweiten beider Strahlen das doppelte Product derselben mit dem Cosinus ihres Phasenunterschiedes addirt.

Haben die beiden componirenden Systeme denselben Phasenzustand, ist also $\beta = \frac{2\pi\delta}{\lambda} = 0, = 2\pi, = 4\pi \ldots$, der Gangunterschied der beiden Systeme oder $\frac{\delta}{\lambda}$ folglich entweder Null oder einer beliebigen Anzahl ganzer Wellenlängen gleich, so ist aus (5):

$$S = (a + a') \sin \xi.$$

Die Ausweichung eines von zwei ähnlich polarisirten und gleichfarbigen Strahlen gleichzeitig angeregten Aethermolecüls wird also bei übereinstimmendem

Phasenzustande der beiden Strahlen verstärkt, und wenn die Schwingungsweiten a und a' gleich sind, verdoppelt. Eine Folge dieser verstärkten Schwingungsweite ist aber eine größere Intensität des Lichtes, indem z. B. im letzteren Falle aus (6) die Intensität $J = (a + a')^2 = 4\,a^2$ wird.

Ist dagegen der Phasenzustand der componirenden Systeme entgegengesetzt, ist also $\beta = \pi, = 3\pi, = 5\pi \ldots$, ihr Gangunterschied also einer ungeraden Anzahl von halben Wellenlängen gleich, so hat man aus (5):

$$S = (a - a') \sin \xi,$$

und, wenn die Schwingungsweiten a und a' gleich sind:

$$S = o.$$

Zwei ähnlich polarisirte und gleichfarbige Lichtstrahlen von entgegengesetztem Phasenzustande und von gleicher Schwingungsweite bringen also bei ihrem Zusammentreffen (ihrer Interferenz) ein Aethermolecül, welches sie gleichzeitig anregen, nicht aus seiner Gleichgewichtslage. Eine Folge dieser Ruhe des Molecüls ist aber Dunkelheit, indem alsdann aus (6) $J = (a - a')^2 = o$ wird.

Ist die Zahl der ähnlich polarisirten und gleichfarbigen Strahlen, die ein und dasselbe Molecül anregen, größer als zwei, oder sind deren unendlich viele vorhanden, wie z. B. in dem Brennpunkte der Objectivlinse eines Fernrohres, wenn anders alle auf das Objectiv parallel einfallenden Strahlen gleichfarbig und ähnlich polarisirt sind, so läßt sich die resultirende Schwingungsweite des Molecüls, und aus dieser seine Lichtstärke ganz in derselben Weise bestimmen. Würde ein und dasselbe Molecül z. B. von drei Strahlen getroffen, deren Schwingungsgleichungen sein mögen:

$$s' = a' \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x'}{\lambda}\right) = a' \sin(\xi - \beta')$$

$$s'' = a'' \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x''}{\lambda}\right) = a'' \sin(\xi - \beta'')$$

$$s''' = a''' \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x'''}{\lambda}\right) = a''' \sin(\xi - \beta'''),$$

so ist die resultirende Ausweichung:

$$S = s' + s'' + s'''$$
$$= \sin\xi\,(a'\cos\beta' + a''\cos\beta'' + a'''\cos\beta''') - \cos\xi\,(a'\sin\beta' + a''\sin\beta'' + a'''\sin\beta'''),$$

oder, wenn man, wie bei zwei componirenden Systemen,

$$(7) \quad a'\cos\beta' + a''\cos\beta'' + a'''\cos\beta''' = \int a\cos\beta = A\cos\gamma$$

$$(8) \quad a'\sin\beta' + a''\sin\beta'' + a'''\sin\beta''' = \int a\sin\beta = A\sin\gamma$$

setzt:

$$S = A\sin(\xi - \gamma)$$

und die Intensität

$$(9) \quad J = A^2 = (\int a\cos\beta)^2 + (\int a\sin\beta)^2$$
$$= (a'\cos\beta' + a''\cos\beta'' + a'''\cos\beta''')^2 + (a'\sin\beta' + a''\sin\beta'' + a'''\sin\beta''')^2,$$

der Winkel γ aber bestimmt durch die Gleichung:

$$\operatorname{tgs}\lambda = \frac{\int a\sin\beta}{\int a\cos\beta}.$$

Sind allgemein $n + 1$ componirende Systeme vorhanden, und bilden ihre Phasen die arithmetische Reihe

$$\xi - \beta',\ \xi - \beta' - \varepsilon,\ \xi - \beta' - 2\varepsilon \ldots\ldots \xi - \beta' - n\varepsilon,$$

während sie alle dieselbe Schwingungsweite A haben, so daß in (7) und (8) $\beta' = \beta'$, $\beta'' = \beta' + \varepsilon$, $\beta''' = \beta' + 2\varepsilon \ldots$ und $a' = a'' = a''' \ldots = A$, wie dies bei der Anwendung dieser Formeln der Fall sein wird, so ist:

$$(10) \quad \int A \cos \beta = A \left\{ \cos \beta' + \cos(\beta' + \varepsilon) \ldots + \cos(\beta' + n\varepsilon) \right\}$$

$$= \frac{A \sin (n+1) \frac{\varepsilon}{2}}{\sin \frac{\varepsilon}{2}} \cos \left(\beta' + \frac{n\varepsilon}{2}\right)$$

$$(11) \quad \int A \sin \beta = A \left\{ \sin \beta' + \sin(\beta' + \varepsilon) \ldots + \sin(\beta' + n\varepsilon) \right\}$$

$$= \frac{A \sin (n+1) \frac{\varepsilon}{2}}{\sin \frac{\varepsilon}{2}} \sin \left(\beta' + \frac{n\varepsilon}{2}\right),$$

folglich

$$(12) \quad J = (\int A \cos \beta)^2 + (\int A \sin \beta)^2$$

$$= \frac{A^2 \sin^2 (n+1) \frac{\varepsilon}{2}}{\sin^2 \frac{\varepsilon}{2}}.$$

$$S = J^{1/2} \sin(\xi - \gamma) = \frac{A \sin (n+1) \frac{\varepsilon}{2}}{\sin \frac{\varepsilon}{2}} \sin(\xi - \gamma)$$

$$\operatorname{tgs} \gamma = \frac{\int A \sin \beta}{\int A \cos \beta} = \operatorname{tgs} \left(\beta' + \frac{n\varepsilon}{2}\right),$$

so daß $\gamma = \beta' + \frac{n\varepsilon}{2}$, und daher auch:

$$(13) \quad S = \frac{A \sin (n+1) \frac{\varepsilon}{2}}{\sin \frac{\varepsilon}{2}} \sin \left(\xi - \beta' - \frac{n\varepsilon}{2}\right).$$

Haben endlich $m + 1$ zusammentreffende Strahlen die Schwingungsgleichungen:

$$(14) \quad \begin{aligned} s' &= A \sin\varphi' \sin(\xi - \beta') \\ s'' &= A \sin(\varphi' + \eta) \sin(\xi - \beta' - \vartheta) \\ s''' &= A \sin(\varphi' + 2\eta) \sin(\xi - \beta' - 2\vartheta) \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ s_{m+1} &= A \sin(\varphi' + m\eta) \sin(\xi - \beta' - m\vartheta) \end{aligned}$$

so ist

$$\int A \cos\beta = A \sin\varphi' \cos\beta' + A \sin(\varphi' + \eta) \cos(\beta' + \vartheta) \ldots.$$

$$\int A \sin\beta = A \sin\varphi' \sin\beta' + A \sin(\varphi' + \eta) \sin(\beta' + \vartheta) \ldots,$$

Da aber

$$\sin\mu \cos\nu = \frac{1}{2} \sin(\nu + \mu) - \frac{1}{2} \sin(\nu - \mu)$$

$$\sin\mu \sin\nu = \frac{1}{2} \cos(\nu - \mu) - \frac{1}{2} \cos(\nu + \mu),$$

so ist auch:

$$\int A \cos\beta = \frac{A}{2} \left\{ \begin{array}{l} \sin(\beta' + \varphi') + \sin(\beta' + \varphi' + \vartheta + \eta) \ldots. \\ -\sin(\beta' - \varphi') - \sin(\beta' - \varphi' + \vartheta - \eta) \ldots. \end{array} \right\}$$

$$\int A \sin\beta = \frac{A}{2} \left\{ \begin{array}{l} \cos(\beta' - \varphi') + \cos(\beta' - \varphi' + \vartheta - \eta) \ldots. \\ -\cos(\beta' + \varphi') - \cos(\beta' + \varphi' + \vartheta + \eta) \ldots. \end{array} \right\}$$

und wenn man diese Reihen nach den Formeln in (11) und (10) summirt, indem man $\beta' \pm \varphi'$ oder $\beta' - \varphi'$ statt β', $\vartheta + \eta$ oder $\vartheta - \eta$ statt ε, und m statt n setzt:

$$\int A \cos\beta = \frac{A}{2} \left\{ \frac{\sin\left(\frac{1}{2}(m+1)(\vartheta + \eta)\right)}{\sin\frac{\vartheta + \eta}{2}} \sin\left(\beta' + \varphi' + \frac{m}{2}(\vartheta + \eta)\right) \right.$$

$$\left. - \frac{\sin\left(\frac{1}{2}(m+1)(\vartheta - \eta)\right)}{\sin\frac{\vartheta - \eta}{2}} \sin\left(\beta' - \varphi' + \frac{m}{2}(\vartheta - \eta)\right) \right\}$$

$$\int A \sin\beta = \frac{A}{2} \left\{ \frac{\sin\left(\frac{1}{2}(m+1)(\vartheta - \eta)\right)}{\sin\frac{\vartheta - \eta}{2}} \cos\left(\beta' - \varphi' + \frac{m}{2}(\vartheta - \eta)\right) \right.$$

$$\left. - \frac{\sin\left(\frac{1}{2}(m+1)(\vartheta + \eta)\right)}{\sin\frac{\vartheta + \eta}{2}} \cos\left(\beta' + \varphi' + \frac{m}{2}(\vartheta + \eta)\right) \right\},$$

so daß endlich die Intensität

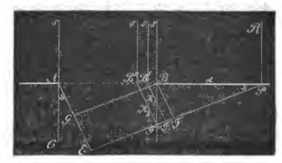
$$(15) \qquad J = (\int A \cos\beta)^2 + (\int A \sin\beta)^2$$

$$= \frac{A^2}{4} \left\{ \frac{\sin^2\left(\frac{1}{2}(m+1)(\vartheta+\eta)\right)}{\sin^2\frac{\vartheta+\eta}{2}} + \frac{\sin^2\left(\frac{1}{2}(m+1)(\vartheta+\eta)\right)}{\sin^2\frac{\vartheta-\eta}{2}} \right.$$

$$\left. - \frac{2\sin\left(\frac{1}{2}(m+1)(\vartheta+\eta)\right)\sin\left(\frac{1}{2}(m+1)(\vartheta-\eta)\right)}{\sin\frac{\vartheta+\eta}{2}\sin\frac{\vartheta-\eta}{2}} \cos(2\varphi' + m\eta) \right\}.$$

Die Gleichungen (9), (12), (13) und (15) sind es namentlich, durch welche man die Gestalt und Farbe der von Fraunhofer, John Herschel und Schwerd beobachteten Beugungsfiguren als nothwendig in der Undulationstheorie begründet nachweisen kann. Wir wollen wenigstens für einen Fall diesen Nachweis hier führen, und wählen dazu die Beugung durch eine Spalte, da die hier auftretenden Phänomene als Fundamentalphänomene angesehen werden können.

Es sei wieder AB (s. die Figur) der horizontale Querschnitt einer engen verticalen Spalte, $AB = \beta$, s die entfernte homogene Lichtquelle und BF, AE... eine beliebige Richtung der gebeugten Strahlen. Senkrecht gegen diese Strahlen



werde durch einen beliebigen Punkt P des Schirmes, in welchem die Spalte angebracht ist, eine Ebene gelegt, welche Normalebene heißen mag, deren Projection PE und deren Durchschnittslinie mit dem Schirme PR sei. Diese Normalebene bilde mit dem Schirme den Winkel $FPB = \vartheta$, welcher dem Winkel EAC, den die einfallenden Strahlen mit dem gebeugten machen, gleich ist, und deshalb der Ablenkungswinkel heiße. Endlich werde die Entfernung des Punktes P von dem Rande B der Oeffnung mit α bezeichnet.

Man denke sich nun die Breite β der Spalte in unendlich viele $(n+1)$ gleiche Theile $d\beta$ getheilt, deren Mittelpunkte der Reihe nach in B', B'' rc. liegen mögen, und von denen jeder einem Aethermolecül entspreche, ziehe aus diesen Punkten die Senkrechten $B'F' = k_1$, $B''F'' = k_2$ ... auf die Normalebene, und man hat:

$$k_1 = \left(\alpha + \frac{d\beta}{2}\right) \sin\vartheta$$

$$k_2 = (\alpha + \frac{d\beta}{2} + d\beta) \sin\vartheta$$

. . . .

$$k_{n+1} = (\alpha + \frac{d\beta}{2} + n.d\beta) \sin\vartheta,$$

eine arithmetische Reihe mit der Differenz $d\beta . \sin\vartheta$. Da die Entfernung von der Lichtquelle bis zum Schirme für alle unter dem Winkel ϑ gebeugten Strahlen dieselbe ist, so hängt ihr Phasenunterschied nur von dem Unterschiede der Wege $k_1, k_2 \ldots$ ab. Derselbe Phasenunterschied, den die Strahlen in der Normalebene PE haben, bleibt ihnen aber auch bei ihrem Zusammentreffen in dem ihrer Richtung zugehörigen Brennpunkte der Objectivlinse des Fernrohrs, da der Weg von der Normalebene bis zu diesem Brennpunkte, der sich nur auf centrale Strahlen beziehen kann, für sie alle derselbe ist. Man braucht also, wenn man die Intensität des dem Ablenkungswinkel ϑ zugehörigen Bildes berechnen will, nur den Phasenunterschied der Strahlen in der Normalebene zu berücksichtigen. Ist aber x die Entfernung eines Aethermoleculs von der Lichtquelle, so ist $2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$ seine Phase. Da nun die Entfernungen der Aethermolecüle F′, F″, . . . von der Lichtquelle in arithmetischer Progression mit der Differenz $d\beta . \sin\vartheta$ wachsen, so bilden auch ihre Phasen eine arithmetische Progression mit der Differenz $-\frac{2\pi}{\lambda} d\beta . \sin\vartheta = -2\pi\lambda^{-1} d\beta . \sin\vartheta$ und es ist daher, wenn man in (12)

$$\varepsilon = 2\pi\lambda^{-1} d\beta . \sin\vartheta$$

setzt, die Lichtstärke, welche aus dem Zusammentreffen aller, zu dem horizontalen Durchschnitte AB der Spalte gehörigen, und unter dem Winkel ϑ abgelenkten Strahlen im Brennpunkte des Fernrohrs resultirt:

$$J = A^2 \left[\frac{\sin(\pi\lambda^{-1}(n+1)\, d\beta . \sin\vartheta)}{\sin(\pi\lambda^{-1} d\beta . \sin\vartheta)}\right]^2,$$

und wenn man im Nenner statt des Sinus des wegen $d\beta$ unendlich kleinen Bogens diesen selbst, $(n+1)\, d\beta = \beta$, also $d\beta = \frac{\beta}{n+1}$ setzt:

$$J = \left\{(n+1) A\right\}^2 \left[\frac{\sin(\pi\lambda^{-1}\beta \sin\vartheta)}{\pi\lambda^{-1}\beta \sin\vartheta}\right]^2,$$

worin $(n+1)^2 A^2$ die Intensität des ungebeugt durchgehenden Lichtes bedeutet, weil für dieses $\vartheta = o$, und der zweite Factor $= 1$ wird, da der Sinus eines unendlich kleinen Bogens diesem selbst gleich gesetzt werden kann. Es ist also A die Schwingungsweite eines einzigen Aethermoleculs im ungebeugten Bilde, weil $(n+1)$ solcher Molecüle zu dem ganzen horizontalen Durchschnitt AB der Spalte gehören. Um daher die der ganzen Spalte, deren Höhe man sich auch in unendlich viele $(m+1)$ Theile getheilt denke, zugehörige Intensität des ungebeugten Lichtes zu erhalten, muß man das Quadrat des Productes von A mit $(n+1)\,(m+1)$

nehmen, und hat also die Intensität des durch die ganze Spalte gebeugten Lichtes:

$$(16)\qquad J = \left\{(n+1)(m+1)A\right\}^2 \left[\frac{\sin(\pi\lambda^{-1}\beta\sin\vartheta)}{\pi\lambda^{-1}\beta\sin\vartheta}\right]^2.$$

Die Intensitätsformel (12), aus der diese Gleichungen gefolgert sind, ist zwar nur für ähnlich polarisirte Strahlen, nicht aber für natürliche, wie man sie gewöhnlich anzuwenden pflegt, berechnet; es wird indeß dadurch, daß man das einfallende Licht als natürliches annimmt, in der verhältnißmäßigen Intensität des ganzen Beugungsbildes deshalb nichts geändert, weil diese lediglich abhängig von dem Gangunterschiede der beiden senkrecht auf einander polarisirten Strahlenbündel, die man bekanntlich statt eines natürlichen substituiren kann, nach dem Durchgange durch die beugende Öffnung und durch die Objectivlinse des Fernrohrs ein und dieselbe ist.

Die Gleichung (16) wird Null, so oft der Zähler des Bruchs, nicht aber zugleich der Nenner desselben Null wird. Die Lichtstärke wird also im Beugungsbilde vernichtet sein, wenn

$$\pi\lambda^{-1}\beta\sin\vartheta = 2p\,\frac{\pi}{2},\ \text{oder}$$

$$(17)\qquad \beta\sin\vartheta = 2p\,\frac{\lambda}{2},$$

und p eine beliebige ganze Zahl mit Ausschluß der Null ist, weil für $p = o$ der zweite Factor in (16) den Werth 1 erhalten würde. Es finden dagegen Maxima der Lichtstärke statt, so oft, wenn p eine beliebige ganze Zahl mit Einschluß der Null bedeutet:

$$\pi\lambda^{-1}\beta\sin\vartheta = (2p+1)\,\frac{\pi}{2},\ \text{oder}$$

$$(18)\qquad \beta\sin\vartheta = (2p+1)\,\frac{\lambda}{2},$$

da dann $\sin(\pi\lambda^{-1}\beta\sin\vartheta)$ den Werth ± 1 hat. Es ist aber, wenn in obiger Figur aus B die Senkrechte BG auf die gebeugten Strahlen gezogen wird, $\beta\sin\vartheta = AG$, und daher treten — wie auch in der allgemeinen Erläuterung gefunden wurde — die Minima der Lichtstärke ein, so oft dieser Unterschied eine gerade Anzahl halber, oder, was Dasselbe ist, eine beliebige Anzahl ganzer Wellenlängen, die Maxima dagegen, wenn derselbe Unterschied eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen beträgt.

Aus den Gleichungen (16) und (18) geht ferner hervor, daß sich die Lichtstärke in den Maximis, für welche in (16) der Zähler des Bruches 1 ist, umgekehrt wie die Quadrate der ungeraden Zahlen $2p+1$ verhalten, daß also die Intensität des zweiten, dritten &c. Seitenspectrums 9 Mal, 25 Mal &c. schwächer ist, als die des ersten.

Die numerische Größe der Lichtstärke eines jeden Spectrums, wenn die Intensität $\left\{(n+1)(m+1)A\right\}^2$ des ungebeugten Lichtes $= 1$ gesetzt wird, erhält man aus (18) für die entsprechenden Werthe von p. Ist z. B. $p = o$, und der Unterschied in den Wegen der Randstrahlen eine halbe Wellenlänge, also

$\beta \sin \vartheta = \frac{\lambda}{2}$, so ist aus (16) $J = \frac{\sin \frac{2\pi}{2}}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} = 0{,}4053$. Mehrere andere Intensitätswerthe, für welche das Wachsen des Unterschiedes in den Wegen der Randstrahlen immer eine halbe Wellenlänge beträgt, enthält folgende Tabelle:

Werthe von $\pi \lambda^{-1} \beta \sin \vartheta$	Unterschied in den Wegen der Randstrahlen	Lichtstärke
0°	0	1,0000
90°	$\frac{\lambda}{2}$	0,4053
180°	λ	0,0000
270°	$\frac{3\lambda}{2}$	0,0450
360°	2λ	0,0000
450°	$\frac{5\lambda}{2}$	0,0162
540°	3λ	0,0000
630°	$\frac{7\lambda}{2}$	0,0082
720°	4λ	0,0000
810°	$\frac{9\lambda}{2}$	0,0050
900°	5λ	0,0000

aus der man ersieht, daß die Lichtintensität in dem fünften Maximum nur noch $\frac{5}{1000}$ von der des ungebeugt durchgehenden Lichtes beträgt, daß also die folgenden Spectra kaum noch bemerkbar sein werden.

Da der Ablenkungswinkel ϑ, der selbst für einen Gangunterschied der Randstrahlen von mehreren Wellenlängen einen so kleinen Werth hat, daß man ihn statt seines Sinus nehmen kann, gleich ist dem Winkel, welchen der ungebeugte Strahl nach seinem Durchgange durch die Objectivlinse mit dem ebenfalls durch diese gegangenen gebeugten bildet, so entspricht er der Entfernung irgend einer Stelle des Beugungsbildes von der Mitte desselben aus gerechnet, also auch der Entfernung, in welcher die Maxima und Minima erscheinen. Es wird aber, wenn man ϑ statt $\sin \vartheta$ nimmt, aus (17) $\vartheta = \frac{p\lambda}{\beta}$ für die Minima, so daß die Entfernung des ersten Minimums von der Mitte des Bildes $= \frac{\lambda}{\beta}$, die Ent-

fernung des zweiten Minimums von dem ersten $= \frac{2\lambda}{\beta} - \frac{\lambda}{\beta} = \frac{\lambda}{\beta}$, die des dritten von dem zweiten $= \frac{3\lambda}{\beta} - \frac{2\lambda}{\beta} = \frac{\lambda}{\beta} \ldots$, diese Entfernungen sich also nicht allein wie die Wellenlängen der jedesmaligen Farbe, sondern auch umgekehrt, wie die Breite β der Spalte verhalten. Je schmaler man also den Spalt nimmt, desto größer werden die von dunklen Stellen unterbrochenen Spectra, von denen die gleichvielten bei einer rothen Lichtquelle deshalb weiter, als bei jeder anderen homogenen Farbe von der Mitte des ganzen Bildes entfernt liegen müssen, weil die Wellenlängen des rothen Lichtes die größten sind.

Die Beugungsfigur einer Spalte für nicht homogenes, sondern weißes Licht, ergiebt sich nun in der Weise, wie bereits oben ausgeführt ist. Die von der Mitte der Figur entferntesten Säume eines jeden einzelnen Spectrums müssen roth, und die der Mitte nächsten violett sein, während die übrigen Farben nach ihren Wellenlängen zwischen diesen Grenzsäumen sich zeigen, weil die Entfernungen einer jeden gebeugten Farbe von der Mitte der ganzen Beugungsfigur ihrer Wellenlänge proportional sind.

Es ist oben Moon erwähnt worden, als ein Zweifler an der Richtigkeit der von Fresnel aufgestellten Principien. Hier müssen wir in der Kürze noch näher darauf eingehen.

Moon *) findet die Idee von den Elementarwellen, welche Fresnel seinen Entwickelungen zum Grunde gelegt hat, anstößig, namentlich hält er es für völlig unbegreiflich, wie von jedem Punkte der Oberfläche einer Welle eine neue Welle sich verbreiten könne, und erklärt daher die Statuirung von Elementarwellen für eine eigene von den Grundvoraussetzungen der Undulationstheorie völlig unabhängige Hypothese, da er doch nicht umhin kann die Richtigkeit dieser Theorie in Beziehung auf viele wesentliche Theile der Optik anzuerkennen. Inzwischen dürfte Mancher eine solche Unabhängigkeit einzuräumen Anstand nehmen.

Ist nämlich a ein Lichtpunkt, A die Oberfläche einer durch dessen Vibrationen erzeugten Lichtwelle, und b ein in meßbarer Entfernung außerhalb der Fläche A liegendes Aethertheilchen, so wird offenbar keines der Theilchen, welche in dem von A umschlossenen Raume liegen, eine Bewegung an b mittheilen können, als indem es zunächst die auf dem Wege liegenden Theilchen von A in Bewegung setzt, und diese den erhaltenen Impuls wieder nach b hinschicken. Ist nun die Bewegung der Theilchen in A eine vibrirende, wie die Bewegung von a eine war, so ist man auch genöthigt anzunehmen, daß sich auch von ihnen aus in ähnlicher Weise, wie von a, die Bewegung weiter verbreite, d. h. daß von ihnen, gleich wie von a, Wellen ausgehen, und daß daher die Bewegung von b sich aus dem Zusammenwirken dieser letzten (der sogenannten Elementarwellen) ableiten lasse.

---

*) On Fresnel's theory of diffraction. Phil. mag. T. XXVI. p. 89; T. XXVII. p. 46; vergl. die Fortschritte der Physik im Jahre 1845. Berlin 1847. S. 164.

Was Moon's Ausstellungen gegen die Fresnel'schen Formeln betrifft, die er voller Widersprüche und Ungereimtheiten findet, so erledigen sich diese zum Theil daraus, daß er nicht Fresnel's Original-Abhandlungen benutzt hat, und anderen Theils ergeben sich dieselben, auch abgesehen hiervon, als völlig unbegründet, fallen sogar zum Theil zu Fresnel's Gunsten aus.

Statt Fresnel's Hypothese stellt Moon nun die Ansicht auf, daß die Wellen beim Vorbeigehen an den Kanten beugender Körper — in Folge des Einflusses, welchen das Hinderniß auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ausübt — ihre Form ändern, daß dadurch ein Schneiden der auf einander folgenden Wellen, und in den Durchschnittspunkten eine Interferenz veranlaßt würde. Daß das Durchkreuzen einer Welle durch eine nachfolgende desselben Systems einen Widerspruch in sich schließt, hat Moon nicht gemerkt. Welcher Art auch der Einfluß der Kante des dunklen Körpers sein mag, immer muß er für alle Wellen derselbe sein. Wie sich dies mit der Vorstellung eines Schneidens reimt, müßte also vorher erklärt werden.

C. Inflexion der Wärme.

Die Uebereinstimmung, welche die strahlende Wärme in ihren Gesetzen mit dem Lichte zeigt (vergleiche Artikel Wärme), machte es mehr denn wahrscheinlich, daß die Wärmestrahlen auch in Beziehung auf Interferenz und Beugung dem Gange des Lichtes folgen werden. Der experimentelle Nachweis ist hier von derselben Wichtigkeit wie bei dem Lichte, denn nur durch denselben wird die Annahme einer Wellenbewegung, welche den Wärmephänomenen zu Grunde zu legen ist, außer Zweifel gestellt.

Der erste, welcher hierauf bezügliche Experimente anstellte, war Matteuci *); es verdienen dieselben indessen kein Vertrauen, und daher möge diese Notiz genügen. Den ersten directen und entscheidenden Nachweis durch die Beobachtung für die in Rede stehende Erscheinung lieferte Knoblauch 1846 **); fast gleichzeitig gelang dieser Nachweis jedoch auch Fizeau und Foucault ***) und später fügte auch A. Seebeck ****) noch entscheidende Beobachtungen hinzu, so daß jetzt die Thatsache als festgestellt anzusehen ist.

Knoblauch ließ Sonnenlicht durch einen schmalen Spalt dringen und maß die Wirkung der von der Sonne ausgehenden Wärmestrahlen bei ihrer Ausbreitung durch eine lineare Thermosäule. Hierbei ergab sich, daß die Ausbreitung der Wärmestrahlen bei Verengerung der Spalte nur bis zu einer gewissen Grenze vermindert wird, von da an aber beständig zunimmt, bis der Schnitt vollkommen geschlossen ist. Dies kann nur von einer Beugung herrühren. Er fand, daß die

*) Annali delle Scienze 1832. Apr. Biblioth. univers. 1831. T. L. p. 1; 1834. T. LVII. p. 74. Vergl. Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 462; Bd. XXXV. S. 558 und die Bemerkungen von Biot, ebenda: Bd. XXVII. S. 465 und von Nobili Bd. XXXVI. S. 537.

**) Monatsberichte der Berliner Akad. 1847. Octobr. S. 391 — 395; vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXIV S. 9.

***) Compt. rend. T. XXV. p. 447. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 462.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 474.

Ausbreitung der Wärmestrahlen hinter dem Spalte beständig größer ist, als sie im Falle einer geradlinigen Begrenzung sein würde. Die absolute Differenz zwischen der wirklichen und der als geradlinig berechneten Ausbreitung der Wärmestrahlen zeigte sich im weiteren Abstande vom Spalte größer, als in geringerer Entfernung von dieser. Diese Abweichung ist desto größer, je mehr man die Weite des Schnittes, durch welchen die Strahlen hindurchgehen, vermindert. Die Ausbreitung der Wärmestrahlen hinter dem Schnitte übertrifft die als geradlinig berechnete in desto höherem Grade, je weiter derselbe von der linearen Wärmequelle entfernt ist.

Wir bemerken noch, daß diese Versuche nur mit Sonnenlichte gelangen und nicht mit anderen Wärmequellen, namentlich erwies sich ein durch den galvanischen Strom glühend gemachter Platindraht unwirksam. Es lassen übrigens diese Versuche, wiewohl sie die seitliche Ausbreitung der Strahlen auch in Bezug der Wärmewirkung nachweisen, eine den Lichtfransen entsprechende Zu- und Abnahme der Intensität nicht erkennen.

Fizeau und Foucault fanden andere Licht- und Wärmequellen als das Sonnenlicht ebenfalls zu schwach und experimentirten daher nur mit diesem. Sie bedienten sich eines Weingeistthermometers, dessen Kugel nur 1,1 Millim. Durchmesser hatte, an welchem aber der Centigrad durch Mikroskop und Mikrometer noch in 400 gleiche Theile getheilt wurde. Das Ergebniß ihrer Untersuchung war folgendes:

1) In den Fransen, erzeugt mittelst zweier gegen einander geneigter Spiegel, ergaben sich Wärmefransen von ähnlichen Dimensionen, wie die Lichtfransen.
2) Bei Spectren mit hellen und dunklen Streifen, erhalten durch prismatische Zerlegung der Interferenzphänomene, welche in polarisirtem Lichte durch Krystallplatten erzeugt werden, ergab sich, daß in dem sichtbaren Spectrum die Wärme wie das Licht vertheilt ist, daß die Mitte der hellen Streifen ein Maximum und die Mitte der dunklen ein Minimum der Wärme darbietet. Auch konnten hier die dunklen Wärmestrahlen studirt werden, welche Herschel jenseits des rothen Endes des sichtbaren Spectrums entdeckt hat. In der Gegend des unsichtbaren Spectrums ist die Vertheilung analog, und man bestimmte die Lage von vier nicht warmen Streifen, getrennt durch Wärmestreifen.
3) Bei Diffraction, erzeugt durch einen einzigen geradlinigen Rand, ist das Phänomen sehr schwach; doch zeigte sich, daß in dem von der ersten hellen Franse eingenommenen Raum eine Wärmediffractionsfranse vorhanden ist, in welcher die Temperatur höher ist, als in den Punkten, zu denen die Strahlen, unmodificirt durch den Schirm, direct gelangen.

Seebeck leitete das Sonnenlicht durch einen belegten Glasspiegel in die dunkle Kammer, ließ dasselbe, da es mehr auf Stärke, als auf Homogenität ankam, durch eine $1^1/_4$ Zoll breite Spalte gehen und fing es 10 Fuß hinter derselben mit einem Fernrohre auf, vor dessen Objectiv sich ein sehr feines Stabgitter (mit ungefähr 100 Spalten auf 1 Par. Lin.) befand. Das aus dem Oculare des Fernrohres getretene Licht wurde auf der Wand aufgefangen und so das Gitterspectrum objectiv und beliebig vergrößert dargestellt. In der Mitte zeigte

sich dann ein scharf begrenztes weißes Feld, zu beiden Seiten ein dunkler Raum, darauf folgte das erste Spectrum 2c. Diese Theile wurden in einem passenden Abstande durch die schwarze Kugel eines Leslie'schen Photometers aufgefangen, dessen Kugel über 1 Zoll Durchmesser hatte. Nun beobachtete Seebeck in 5 Stellungen: 1) in dem mittleren weißen Felde; 2) und 3) in dem dunklen Raume rechts und links von der Mitte; 4) und 5) im ersten Spectrum rechts und links. Die Einstellung geschah nicht durch Rücken des Photometers, sondern durch Drehen des Fernrohrs.

Das weiße Feld erzeugte eine recht wohl bemerkbare Erwärmung, das erste Spectrum eine ungefähr halb so große, dagegen der dunkle Zwischenraum eine entschieden geringere. Es wurden die beiden letzten Stände abwechselnd sehr oft beobachtet und stets mit gleichem Erfolge. H. E.

Inflexioskop, s. Chromadot.

Inklination, s. Neigung der Magnetnadel.

Inklinatorium (v. d. griech. κλίνω, ich neige) oder **Inklinationsnadel** (acus inclinatoria, boussole d'inclinaison, dipping needle) ist ein Apparat, dessen man sich bedient, die Neigung der Magnetnadel (s. d. Art.) zu beobachten.

Kommt es nur darauf an die Thatsache der Neigung der Magnetnadel nachzuweisen, so ist folgender Apparat sehr geeignet. An einem messingenen Rahmen (s. beistehende Figur), welcher an einem ungedrehten Faden aufgehängt ist, befindet sich eine sehr leicht bewegliche Axe ab, welche durch den, vor dem Magnetisiren ermittelten, Schwerpunkt einer Magnetnadel geht. Um die Axe recht beweglich zu machen, ist es zweckmäßig bei a und b zwei Schrauben von Stahl anzubringen, an deren Spitze eine kegelförmige Vertiefung sich befindet, deren Spitze aber einen stumpferen Winkel bildet, als die kegelförmige Spitze der Axe. Die beiden Schrauben werden dann so weit hineingedreht, daß die Spitzen der Axe im Grunde der Höhlungen liegen, ohne jedoch an die Schrauben angedrückt zu werden.



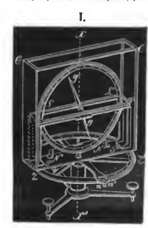
Es ist klar, daß eine so aufgehängte Magnetnadel sich um eine verticale und zugleich um eine horizontale Axe drehen und somit dem Einflusse der Erde auf die Stellung der Nadel ganz frei folgen kann. Es stellt sich daher die Nadel erstens so, daß ihre Richtungslinie in den magnetischen Meridian trifft, und zweitens senkt sich in unseren Gegenden das nach Norden gerichtete Ende der Nadel, so daß die Richtungslinie der Nadel mit der Horizontalen einen Winkel, den Inklinations- oder Neigungswinkel bildet.

Soll jedoch der Apparat dazu dienen, die Größe des Neigungswinkels mit aller Schärfe zu bestimmen, so reicht selbstredend der eben angegebene Apparat nicht aus. Daß Daniel Bernoulli *) 1743 einen von der Pariser Akademie

*) D. Bernoulli, mémoire sur la manière de construire les boussoles d'inclinaison pour faire avec le plus de précision qu'il est possible les observations de l'aiguille aimantée, tant sur mer que sur terre. Pièces de Prix de l'Acad. de Par. 5. Mem. 8.

der Wissenschaften ausgesetzten Preis, auf die beste Construction eines zu genauen Messungen geeigneten Apparates, gewann, sei hier nur als historische Notiz erwähnt, da die Ausführung mit so viel Schwierigkeiten verknüpft war, daß selbst die geschicktesten mechanischen Künstler nichts Vollkommenes zu liefern vermochten.

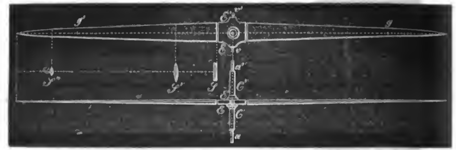
I.



Wir wenden uns gleich zu der Beschreibung des Inklinatoriums, welches dem Zwecke am besten entspricht, und bemerken nur noch, daß es Borda *) gewesen ist, welchem das Hauptverdienst gebührt, diese Instrumente in Aufnahme gebracht zu haben.

Nebenstehende Fig. I. zeigt die vollständige Inklinationsboussole; einzelne, besonders wichtige, Theile stellen Fig. II., III. und IV. dar und zwar Fig. II. die Nadel g g, in der Breitenansicht, Fig. III. der Dicke nach. Die Durchschnitte S, S', S'' geben eine Vorstellung von der Form derselben. E E' ist eine Art von Zwinge oder Kupferring, der sich mit sehr starker Reibung um die Mitte der Nadel anpaßt; er trägt eine Axe von Kupfer C C', welche in 2 kleine Cylinder von polirtem Stahl a a'

II. und III.



ausläuft. Diese bilden die Drehungsaxe der Nadel. Die mathematische Axe a a' dieser beiden Cylinder muß durch den Schwerpunkt der Nadel gehen. Diese Bedingung zu erfüllen wird der Ring gehörig gestellt und in der genau abgepaßten Lage durch die beiden seitwärts angebrachten Schrauben v und v' befestigt.

IV.

Fig. IV. zeigt eine Seite des Rechtecks, auf welchem die aufgestellte Nadel (Fig. I.) ruht, und ist ein besonders wichtiges Stück der Boussole. Die Fig. IV. zeigt eine Seite desselben vergrößert und in den Einzelheiten. Dies Rechteck ist zu-



*) Gilb. Ann. Bd. IV. S. 449 u. allgem. geogr. Ephemer. 1799. S. 146.

sammengesetzt aus einem festen Querstücke T T', welches eine Schneide von Achat p p' trägt, und aus einem anderen Querstücke M M', das um die Axe A beweglich ist. Dieses trägt eine Gabel f, welche die Drehungsaxe der Nadel aufnimmt, wenn man sie nicht länger auf der Achatschneide ruhen lassen will, und einen Halter R, welcher das Gleiten der Axe auf der Gabel verhindert. Diese Vorrichtung ist so angebracht, daß, so wie man die Gabel herabläßt, um die Beobachtung zu beginnen, die Axe der Nadel genau im Mittelpunkte des graduirten Kreises L L' (Fig. I.) sich befindet und genau senkrecht auf der Ebene dieses Kreises steht. Dieser graduirte Kreis L L' steht senkrecht auf einer festen Platte P P', welche auch das Gestell des Rechtecks, ein Glasgehäuse C C' und eine Richtwage N N' trägt. Alles dies ist beweglich um eine Axe X X', deren Verlängerung durch den Mittelpunkt des Kreises L L' geht und mithin durch den Schwerpunkt der Nadel. Ein an die Platte P P' befestigter Nonius n n' durchläuft den Azimuthalkreis Z Z', um auf diesem in jedem Augenblicke die Winkel messen zu können, um welche man den Kreis L L' verrückt hat.

Um die Schwierigkeiten bei der Herstellung dieses Inklinatoriums gehörig würdigen zu können, müssen wir zunächst uns über den Gebrauch desselben zur Ermittelung der Neigung im Allgemeinen verständigen. — Nachdem die Abweichung der Magnetnadel (s. d. Art.) oder die Richtung des magnetischen Meridians schon bekannt ist, stellt man die Ebene des senkrechten Kreises L L' in diese Richtung. Alsbald stellt sich die Nadel von selbst in die Richtung der Neigung. Will man nicht abwarten, bis sie sich in dieser Stellung fixirt hat, so beobachtet man, bis zu welchem Grade (am Kreise L L') die Nadel bei den kleinen Oscillationen, welche sie macht, ausschlägt, und nimmt aus diesen das Mittel. Nach diesem ersten Resultate wendet man die Nadel so um, daß der vorher westlich gerichtete Theil der Drehungsaxe nun nach Osten steht, ohne aber zugleich die Pole der Nadel umzuwenden, und stellt die Beobachtung wie vorher an. Durch diese Umwendung, indem man das zuerst erhaltene Resultat der Beobachtung mit dem zuletzt erhaltenen vergleicht, erhält man ein Mittel, diejenigen möglichen Fehler der Beobachtung zu verbessern, welche aus einer Ungleichmäßigkeit in der Magnetisirung der Nadel, oder nicht völligen Genauigkeit in der Unterstützung des Schwerpunktes entstehen können. Da aber diese beiden Quellen eines möglichen Irrthums nur erst unvollkommen compensirt sind, so magnetisirt man hierauf die Nadel im entgegengesetzten Sinne, so daß das vorher nordpolarische Ende zum südpolarischen wird, und macht noch zwei Beobachtungen, indem man wie vorher die Nadel seitwärts umwendet. Hierbei ist jedoch zu bemerken, daß das Umkehren der Polarität immer schwieriger wird, je öfter es bereits an derselben Nadel ausgeführt ist. Das Mittel aus diesen vier Beobachtungen giebt erst genau die Neigung der Magnetnadel für den Ort der Beobachtung.

Die größte Schwierigkeit liegt nun bei der Herstellung des Inklinatoriums darin, daß es fast unmöglich ist eine Magnetnadel zu verfertigen, deren Schwerpunkt genau in ihrer Axe liegt, weil schon bei der Bearbeitung der Nadel dieselbe etwas magnetisch wird. Man darf daher bei den Beobachtungen niemals unterlassen, die oben angegebenen Umwendungen der Nadel vorzunehmen. Die Nadel wird nach Baumgartner *) am besten aus gutem Stahl in parallelepipedischer

*) Die Naturlehre. Supplementband. 1831. S. 721.

Form gemacht, mit einer Länge von 10 Par. Zoll., einer Breite von 4 L., und einer Dicke von $1/4$ bis $1/5$ Linie. Bei diesen Dimensionen hat man weder zu befürchten, daß sie ein zu großes Gewicht habe, noch daß sie sich biege. Zieht man auf beiden Seiten einer solchen Nadel eine gerade, durch die Drehungsaxe gehende, mit einer Kante parallele Linie, so kann diese als Merkzeichen dienen, wenn man es nicht vorzieht, nebst dieser auf die ganze Länge der Nadel sich erstreckenden Linie noch an jedem Ende mehrere andere zu ziehen, welche die Stelle eines Nonius vertreten können. Die Nadel spitzig zu machen, wie Viele thun, oder sie aus zwei an den Basen verbundenen Kegeln zusammen zu setzen, wie Le Noir *) gethan, ist minder rathsam, weil solche von obiger Form sich besser und regelmäßiger magnetisiren lassen. Der Stahl muß gehärtet sein, damit er die magnetische Polarität dauerhaft an sich halte.

Die Axe, um welche sich die Nadel drehen soll, muß genau cylindrisch sein und auf der Ebene der Nadel senkrecht stehen. Es ist gut, wenn sie an beiden Enden in feine Spitzen ausläuft und mittelst dieser auf den Pfannen ruht. Sie wird aus Stahl gemacht und nur wenig gehärtet.

Die Pfannen müssen aus Achatplatten bestehen, die zur besseren Fixirung einer bestimmten Lage der Nadel etwas ausgehöhlt sein sollen. Sie müssen sich durch besondere Schrauben reguliren und in eine solche Lage bringen lassen, daß die darauf gelegte Nadel sich in der Ebene des getheilten Kreises bewegt und ihre Drehungsaxe genau durch den Mittelpunkt dieses Kreises geht.

Von Wichtigkeit ist es, daß die magnetische Axe der Nadel ihre Drehungsaxe schneide und mit ihren Kanten parallel laufe. Dieses wird erreicht, wenn man beim Magnetisiren gehörig verfährt. Zu diesem Ende wird die Nadel in ein ebenes Bret eingelassen, und ihr zur Seite in paralleler Richtung eine etwas hervorstehende gerade Leiste angebracht, die dem zum Magnetisiren gebrauchten Magnete zum Führer dient. Man thut am besten, zu letzterem zwei gleiche, parallelepipedische Stäbe anzuwenden, deren entgegengesetzte Pole man auf die im Brete aufwärts gekehrte Fläche der Nadel so stellt, daß sie dieselbe der ganzen Breite nach decken und zugleich an jene Führleiste anstehen. Hat man sie mit gleicher Stärke und Geschwindigkeit einige Male hin- und hergeführt, so kehrt man die Nadel um und verfährt eben so mit der anderen Fläche derselben. Um sich zu überzeugen, daß die Nadel den nöthigen Grad des Magnetismus angenommen habe, soll man sie nach dem Streichen in den Kreis einsetzen und ihren Stand beobachten, hiernach abermals einige Striche auf die vorher genannte Weise anbringen, und ihren Stand im Kreise wieder beobachten. Findet man im letzteren Falle die Neigung nicht größer, so hat die Nadel bereits den nöthigen Grad von Stärke erhalten. Doch darf man nicht vergessen, daß sie diesen Grad nicht immer behält, sondern besonders durch die Einwirkung der Wärme eine Schwächung erleidet.

Ist die Nadel in Betreff aller bis jetzt besprochenen Punkte in Ordnung, so muß man noch ihre Empfindlichkeit beurtheilen. Um diese kennen zu lernen, neigt man sie, wenn die Axe in den Pfannen ruht, läßt sie dann frei und sieht zu, ob sie wieder in den vorigen Stand kommt. Letzteres ist für eine brauchbar sein sollende Nadel unerläßlich.

*) Gilb. Ann. Bd. IV. S. 449.

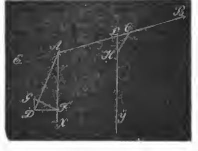
Eine fernere Operation bei Herstellung des Inklinatoriums ist das Justiren der Nadel, wodurch man untersucht, ob ihr Schwerpunkt in der Axe liege oder nicht. Ist nämlich die Nadel so weit ausgearbeitet, daß man ihr die Adjustirung zu geben hat, so glüht man sie aus, um ihr allen Magnetismus zu nehmen, legt sie dann mit der Axe in die dazu bestimmten Pfannen und sieht zu, ob sie in jeder Lage im Gleichgewicht steht oder nicht. Dabei soll aber die Axe von Nord nach Süd gerichtet sein, und daher die Nadel von Ost nach West sich bewegen, damit sie nicht etwa vom Erdmagnetismus eine schädliche Einwirkung während der Probe erfahre. Bleibt sie da in jeder Lage im Gleichgewichte, selbst nachdem man sie verkehrt in die Pfannen gelegt, so kann man sie als justirt ansehen; ist dies nicht der Fall, so muß man da, wo es nöthig ist, durch Wegschleifen zu Hülfe kommen. Dies darf aber nicht mit einem stählernen Werkzeug geschehen (so wie überhaupt die Nadel nicht weiter mit Stahl oder Eisen berührt werden soll), sondern man muß die überflüssige Masse mittelst eines Schleifsteines wegnehmen. Man darf nicht erwarten, auf solche Weise eine justirte Nadel zu erhalten; wohl aber wird man voraussetzen können, daß sich dadurch der Justirungsfehler bis auf eine sehr kleine Größe vermindern läßt, und daß man sich dann die Erlaubniß nehmen darf, das arithmetische Mittel aus der Neigung bei einer bestimmten Magnetisirung der Nadel und aus der bei der entgegengesetzten Magnetisirung als wahre Neigung anzusehen, welches nicht der Fall wäre, wenn der Justirungsfehler eine merkliche Größe überschritte.

Wenn oben bei Angabe des Gebrauches des Inklinatoriums eine Vorherbestimmung der Abweichung der Magnetnadel als erforderlich bezeichnet wurde, so war daselbst eben nur von dem Gebrauche im Allgemeinen die Rede. Verfolgen wir den Gegenstand jetzt näher, so stellt sich bald heraus, daß man die Vorherbestimmung der Abweichung umgehen, mithin ersparen kann. Da nämlich die Doppelkraft der Erde, welche auf die Nadel wirkt, in der Ebene des magnetischen Meridians enthalten ist, so wird die Nadel niemals zur Abweichung aus dieser Ebene bestimmt. Wenn daher die Ebene des Kreises L L', in welcher sich die Nadel nur bewegen kann, nicht mit der Ebene des magnetischen Meridians zusammenfällt, sondern rechtwinkelig dieselbe schneidet, so wird sich die Nadel stets in die Richtung der Linie stellen, in welcher die Ebene des Kreises L L' und die Ebene des magnetischen Meridians sich schneiden, also vertical stehen. Man drehe daher die Ebene des Kreises L L' erst so, daß die Nadel vertical steht, und hierauf stelle man den Kreis L L' so ein, daß er eine Stellung einnimmt, welche mit der vorhin beobachteten einen Winkel = 90° macht (die Messung des Winkels geschieht am Azimuthalkreise), so hat man die Ebene desselben sicher in die Richtung des magnetischen Meridians gestellt. — Noch einfacher ist es, durch einige Versuche dasjenige Azimuth zu bestimmen, bei welchem die Nadel die geringste Neigung hat. Diese kleinste Neigung ist die wahre magnetische Neigung der Magnetnadel, denn nach jeder Seite hin weicht die Nadel nach der verticalen Richtung zu ab.

Ueber die Einrichtung der von Kupffer angegebenen und von Gambey ausgeführten Inklinationsnadel verweisen wir auf den Artikel Neigung und zwar auf die Stelle, wo von den täglichen Variationen die Rede ist. Ueber die Bestimmung der Neigung besitzen wir eine ausgezeichnete Arbeit von To=

bias Mayer 2. *). In dem Folgenden geben wir einen Abriß seiner Untersuchung.

Ist (beistehende Figur) A C B eine Neigungsnadel, A der eine, B der andere Pol und C der nicht im Schwerpunkte liegende Unterstützungspunkt, so stelle A D = P die ganze Kraft des Erdmagnetismus in Richtung und Größe für die Hälfte C A dar. Ziehen wir nun A X vertical durch A, verlängern B A über A nach E, setzen $< EAX = \alpha$, $< DAX = i$, den Winkel, welchen die beiden Ebenen E A X und D A X mit einander bilden, $= \beta$; zerlegen wir endlich A D in zwei Kräfte, von denen die eine A X parallel und die andere auf A X senkrecht ist, also in A F und F D, und D F wiederum in zwei Kräfte, von denen die eine D G senkrecht auf der Ebene E A X steht und die andere F G in dieser Ebene liegt: so erhalten wir:



$$AF = x = DA \cdot \cos i = P \cdot \cos i$$
$$DG = y = DF \cdot \sin\beta = DA \cdot \sin i \cdot \sin\beta = P \cdot \sin i \cdot \sin\beta$$
$$FG = z = DF \cdot \cos\beta = DA \cdot \sin i \cdot \cos\beta = P \cdot \sin i \cdot \cos\beta.$$

Liegt nun der Schwerpunkt in H, in der Entfernung $HC = e$ von dem Unterstützungspunkte, ziehen wir H y vertical durch den Schwerpunkt und setzen $< LCH = \gamma$; so ist der auf die Richtung der Nadel senkrecht einwirkende Theil der Schwere, wenn das Gewicht der Nadel = Q gesetzt wird, $= Q \cdot \sin(\alpha - \gamma)$. Die Lage des Gleichgewichts der Nadel ist nun das Resultat von der Wirkung 1) der Kraft $Q \cdot \sin(\alpha - \gamma)$ mit dem Momente $Q \cdot e \cdot \sin(\alpha - \gamma)$; 2) der Kraft X mit dem Momente $AC \cdot P \cdot \cos i \cdot \sin\alpha$ und 3) der Kraft Z mit dem Momente $- AC \cdot P \cdot \sin i \cdot \cos\beta \cdot \cos\alpha$, so daß für den Fall des Gleichgewichts sein muß:

$$AC \cdot P (\cos i \cdot \sin\alpha - \sin i \cdot \cos\beta \cdot \cos\alpha) + Q \cdot e \cdot \sin(\alpha - \gamma) = o$$

oder, wenn $\dfrac{Q \cdot e}{AC \cdot P} = c$ gesetzt wird,

$$\cos i \cdot \sin\alpha - \sin i \cdot \cos\beta \cdot \cos\alpha + c \cdot \sin(\alpha - \gamma) = o,$$

woraus man erhält, da

$$\sin(\alpha - \gamma) = \sin\alpha \cdot \cos\gamma - \cos\alpha \cdot \sin\gamma \text{ und } \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \operatorname{tgs}\alpha \text{ ist,}$$

$$\operatorname{tgs}\alpha = \frac{c \cdot \sin\gamma + \sin i \cdot \cos\beta}{\cos i + c \cdot \cos\gamma} \quad . \ . \ . \ . \ (1)$$

Liegt der Schwerpunkt der Nadel genau in dem Drehpunkte C, so wird $CH = e = o$, folglich auch $c = o$, und man erhält daher für diesen Fall:

*) De usu accuratiori acus inclinatoriae magneticae. Comm. Soc. Gotting. T. III. 1814. p. 3. u. Gilb. Ann. Bd. XLVIII. S. 229; vergl. auch Schmidt, über Mayer's Methode den magnetischen Neigungscompaß zu gebrauchen. Gilb. Ann. Bd. LXIII. S. 1.

$$\text{tgs}\ \alpha = \frac{\sin i \,.\, \cos \beta}{\cos i} = \text{tgs}\ i \,.\, \cos \beta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Befindet sich außerdem die Nadel in dem magnetischen Meridiane, so ist $\beta = 0$, und daher

$$\text{tgs}\ \alpha = \frac{\sin i}{\cos i} = \text{tgs}\ i, \text{ d. h. } \alpha = i \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Bildet endlich die Drehungsebene der Nadel mit dem magnetischen Meridian einen rechten Winkel, so wird $\cos \beta = 0$ und folglich:

$$\text{tgs}\ \alpha = 0, \text{ d. h. } \alpha = 0, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

und es steht daher die Nadel vertical.

Diese Resultate bieten nun die Grundlage zur Ermittelung der Neigung durch das Experiment. Durch eine Beobachtung im magnetischen Meridiane und mit einer Nadel, deren Schwerpunkt genau mit dem Drehpunkte zusammenfällt, erhält man (3) die Neigung unmittelbar. Dies ist das oben angegebene Verfahren, um einen Ueberblick dessen zu gewinnen, worauf es bei der Construction des Inklinatoriums ankommt.

Die unter (2) gewonnene Formel giebt uns das Verfahren der Beobachtung außerhalb des magnetischen Meridians, wenn Schwerpunkt und Drehpunkt der Nadel genau zusammenfallen. Es wird hierbei α an dem Verticalkreise abgelesen und β an dem Azimuthalkreise unter der Voraussetzung, daß man die Lage des magnetischen Meridians kennt. Wegen dieser letzteren Voraussetzung würde man es daher vorziehen, die Neigung unmittelbar in dem magnetischen Meridiane zu ermitteln, zumal man dann nur eine Ablesung zu machen hat, und mithin auch nur einem Beobachtungsfehler ausgesetzt ist, allerdings unter der Voraussetzung, daß auch bei der Einstellung in den magnetischen Meridian kein Fehler begangen ist. Es läßt sich indessen die Größe β eliminiren, so daß man die Richtung des magnetischen Meridians gar nicht nöthig hat. Zu diesem Zwecke beobachtet man in zwei auf einander senkrechten, sonst ganz beliebigen Richtungen, und erhält dann, wenn das übrigens unbekannte Azimuth der Nadel in der einen Stellung $= \beta$ ist, in der anderen dafür $90^0 - \beta$ und mithin für den ersten Fall aus (2)

$$\text{tgs}\ \alpha = \text{tgs}\ i \,.\, \cos \beta$$

für den zweiten

$$\text{tgs}\ \alpha_1 = \text{tgs}\ i \,.\, \sin \beta$$

und folglich aus beiden Gleichungen

$$\text{tgs}\ \alpha^2 + \text{tgs}\ \alpha_1^2 = \text{tgs}\ i^2.$$

Da jedoch, wie wir gesehen haben, es so gut wie unmöglich ist, eine Magnetnadel anzufertigen, deren Schwerpunkt genau in dem Drehpunkte liegt, so würden wir gezwungen werden, die Beobachtung nach der Formel (1) einzurichten. Indessen läßt sich die Wirkung der Schwere noch eliminiren, so daß dies doch nicht nöthig wäre. Man beobachtet nämlich die Lage der Nadel gegen den Horizont, während sie im magnetischen Meridian sich befindet, magnetisirt dieselbe hierauf so, daß der Nordpol zum Südpole wird und umgekehrt, und beobachtet dann wieder den Stand der Nadel gegen den Horizont. Da die Schwere die Neigung in dem einen Falle eben so vermehren muß, wie sie dieselbe in dem anderen vermindert, so würde das Mittel aus beiden Neigungen die wahre Neigung geben.

Daß man hierbei die Kenntniß des magnetischen Meridians entbehren und nach dem zuletzt angegebenen Verfahren beobachten kann, versteht sich von selbst; eben so daß man dann vier Beobachtungen zu machen hat, nämlich zwei vor dem Umkehren der Pole und zwei wieder auf einander senkrechte in denselben Lagen nach dem Umkehren, wobei man aus je zwei zu demselben Azimuth gehörigen das arithmetische Mittel zu nehmen hat. — Ein Einwand, der sich gegen dieses Umkehren der Pole machen läßt, besteht darin, daß die Nadel nach dem Umkehren wohl nicht genau dieselbe magnetische Kraft besitzen möchte, wie vor demselben.

Um die Schwere zu eliminiren, schlug Mayer das physische Umkehren der Nadel vor, ohne die magnetischen Pole zu verändern Bei dieser Methode, welcher eben die unter (1) aufgestellte Formel zu Grunde liegt, muß die Nadel so beschaffen sein, daß ihr Schwerpunkt merklich außerhalb ihrer Axe liegt und sie daher selbst im unmagnetischen Zustande eine schiefe Lage gegen den Horizont annehmen würde. Die Untersuchung besteht darin, daß, wenn bei der ersten Beobachtung der Schwerpunkt der Nadel unter ihrer Drehungsaxe sich befand, derselbe bei der darauf folgenden über diese Axe zu liegen kommt. Denken wir uns der Einfachheit wegen die Nadel im magnetischen Meridian, also $\beta = o$, so erhalten wir z. B. für die Beobachtung, bei welcher der Schwerpunkt unter der Axe liegt,

$$\operatorname{tgs} \alpha = \frac{\sin i + c \cdot \sin \gamma}{\cos i + c \cdot \cos \gamma}.$$

Kehren wir die Nadel um, so wird γ negativ und wir erhalten:

$$\operatorname{tgs} \alpha_1 = \frac{\sin i - c \cdot \sin \gamma}{\cos i + c \cdot \cos \gamma}.$$

Wäre nun γ bekannt, z. B. gleich 90^0, so erhielte man aus diesen beiden Gleichungen:

$$\frac{\operatorname{tgs} \alpha + \operatorname{tgs} \alpha_1}{2} = \operatorname{tgs} i;$$

ist aber γ nicht bekannt, so muß man diesen Winkel eliminiren, und hierzu bieten sich zwei Wege dar. Der eine und, wie es scheint, der sicherste, besteht darin, daß man, nachdem man den Werth α und α_1 durch Beobachtung erhalten hat, die Pole der Nadel durch Streichen mit einem Magnete umkehrt, und mit derselben wieder zwei Beobachtungen, ähnlich den vorhergehenden macht, wobei man die Werthe A und A_1 statt α und α_1 erhält. Sollte hierbei, wie schon vorher bemerkt wurde, die Nadel nicht genau die vorige Stärke des Magnetismus erhalten haben, so möge k das bedeuten, was vorher c war, ferner ist γ in $180^0 - \gamma$, mithin $\cos \gamma$ in $- \cos \gamma$ übergegangen, und man hat daher für die Beobachtung vor und nach dem Umlegen der Nadel:

$$\operatorname{tgs} A = \frac{\sin i + k \cdot \sin \gamma}{\cos i - k \cdot \cos \gamma} \text{ und } \operatorname{tgs} A_1 = \frac{\sin i - k \cdot \sin \gamma}{\cos i - k \cdot \cos \gamma}.$$

Man erhält somit in diesen beiden Gleichungen und den beiden vorigen für $\operatorname{tgs} \alpha$ und $\operatorname{tgs} \alpha_1$ vier Gleichungen für die vier Unbekannten c, k, γ und i, und kann daher die Neigung $= 90^0 - i$ finden.

Der zweite Weg, um γ zu eliminiren, besteht darin, daß man, nachdem man zwei Beobachtungen im magnetischen Meridiane gemacht hat, zwei ähnliche in einer darauf senkrechten Verticalebene anstellt. Die beiden ersten geben die obigen

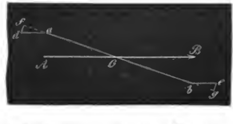
Werthe für tgs α und tgs α_1; für die beiden letzten aber, wo $\beta = 90^0$ zu setzen ist in der Formel (1), bekommt man:

$$\text{tgs } a = \frac{c \,.\, \sin\gamma}{\cos i + c \,.\, \cos\gamma} \text{ und tgs } a_1 = \frac{- c \,.\, \sin\gamma}{\cos i + c \,.\, \cos\gamma}.$$

Nimmt man zu diesen Gleichungen die für tgs α oder tgs α_1 zu Hülfe, so ist dadurch ebenfalls i gefunden.

Ein anderes Mittel die Neigung zu bestimmen, besteht darin, daß man die völlig justirte Nadel um die Lage ihres Gleichgewichts zuerst in der Ebene des magnetischen Meridians, dann in einer darauf senkrechten Ebene schwingen läßt, und die Anzahl der in einer bestimmten Zeit in beiden Ebenen vollbrachten Schwingungen genau bestimmt. Der Satz, auf welchen sich diese Methode gründet, ist der bekannte, daß die Quadrate der Schwingungszahlen zweier Pendel von gleicher Länge sich wie die sollicitirenden Kräfte verhalten (s. d. Art. Pendel).

Ist der Magnet (s. beistehende Figur) AB aus seiner Gleichgewichtslage in die Lage ab gebracht, und giebt p die Stärke des in der Ebene der Zeichnung wirkenden Erdmagnetismus an; so wirkt p auf b und a, da diese nicht weit aus einander liegen, in einer mit AB parallelen Richtung. Ist nun be = ad = p, so zerlege man diese in zwei Kräfte, von denen die eine bg und af in der Richtung der Nadel liegt, die andere eg und df senkrecht auf derselben steht. Die letztere Kraft bewirkt die Oscillation der Nadel wie bei einem Pendel und zwar ist, wenn $\angle$ BCb $= \alpha$ gesetzt wird, eg $=$ df $=$ p . sin α. Macht nun die Nadel ihre Schwingungen in der Ebene des magnetischen Meridians, so ist p $=$ P, d. h. $=$ der ganzen Kraft des Erdmagnetismus; geschehen aber die Schwingungen in einer darauf senkrechten Ebene, so bedeutet p nur den vertical wirkenden Theil des Erdmagnetismus und ist also, wenn i die Neigung bedeutet, $=$ P sin i. Werden also in einer gewissen Zeit in der ersten Stellung N und in der zweiten n Schwingungen gemacht, so erhält man:



$$N^2 : n^2 = P : P \sin i \text{ und folglich}$$
$$\sin i = \frac{n^2}{N^2}.$$

Ebenfalls auf Schwingungsbeobachtungen gründet sich das Verfahren von Coulomb*), welches als sehr genau empfohlen worden, indessen nicht frei von Quellen des Irrthums ist. Er geht von dem Satze aus, daß die Summe der Momente aller Kräfte, welche eine horizontale Nadel in den magnetischen Meridian zu führen streben, durch die Formel $\frac{P l^2}{3 \lambda}$ gegeben ist. P ist das Gewicht

*) Nouvelle méthode de déterminer l'inclinaison de l'aiguille aimantée. Mém. de l'Inst. 1803. T. IV. p. 165.

der Nadel, l die Hälfte ihrer Länge, λ die Länge des einfachen Pendels, welches seine Oscillation in derselben Zeit, wie die Nadel macht. Diese Formel ist zwar richtig, indessen nur unter der Voraussetzung, daß die Nadel eine Regelmäßigkeit der Gestalt und eine Kleinheit in ihren transversalen Dimensionen hat, welche man ihr eigentlich niemals geben kann; außerdem ist Bedingung, daß der Schwerpunkt mit dem Drehpunkte genau zusammenfällt, was, wie wir gesehen haben, nicht zu erreichen ist. Um übrigens dies Coulomb'sche Verfahren anschaulicher zu machen, möge hier die Beobachtung folgen, welche Coulomb zur Bestimmung der Neigung in Paris im Jahre 1798 anstellte.

Bei Coulomb's Nadel war $P = 88{,}808$ Gr., $l = 213{,}3$ Millimeter, und da sie 50 Schwingungen in 495 Secunden machte, so ergiebt sich $\lambda = 994 \left(\frac{495}{50}\right)^2$ und hieraus das horizontale Moment $\frac{P\,l^2}{3\,\lambda} = 13{,}824$ Gr. auf 1 Millimeter Abstand vom Centrum der Nadel. Um hierauf das verticale Moment zu finden, hängt man die Nadel gleich einem Wagebalken auf eine Axe, die ziemlich genau durch den Schwerpunkt geht, und sucht das Gegengewicht, welches man an dem Südpole anbringen muß, um die Nadel zur Horizontalität zurück zu führen. Dieses Gegengewicht betrug 0,2 Gr. in 170,5 Millim. Abstand von der Axe. Dieses Resultat würde genügen, wenn die Axe wirklich genau durch den Schwerpunkt gehen könnte; aber um sich in dieser Beziehung sicher zu stellen, magnetisirt man die Nadel im entgegengesetzten Sinne, und bei dieser Gelegenheit ergiebt sich eine dritte Quelle des Irrthums, denn man muß sie so magnetisiren, daß sie wie das erste Mal 50 Schwingungen in 495 Secunden macht, welches außerordentlich schwer ist. Ist dies jedoch gelungen, so legt man sie wieder auf ihre Axe, deren Stellung nicht verändert sein darf, und sieht aufs Neue das Gegengewicht, welches sie horizontal macht. Dasselbe betrug 0,2093 Gr. in 194,5 Millim. Abstand von der Axe. Das Mittel aus beiden Gegengewichten giebt 37,348 Gr. für 1 Millimeter Abstand, so daß, wenn die im horizontalen Sinne wirkende Kraft der Erde durch 13,824 dargestellt ist, die im verticalen Sinne wirkende durch 37,348 gegeben ist. Hieraus ergiebt sich als die Tangente des Winkels, welchen die gegen die Nadel in der Ebene des magnetischen Meridians wirkende Erdkraft mit dem Horizonte macht, $= \frac{37{,}348}{13{,}824} = 2{,}70167$. Der zu dieser Tangente gehörige Winkel $69^0\ 41',3$ war also die Neigung der Magnetnadel.

Die Methode der Schwingungen empfiehlt sich durch ihre Einfachheit, und da man auch die zu directen Messungen eingerichteten Inklinatorien dazu gebrauchen kann, so sollte man da, wo man direct gemessen hat, wenigstens der Controle wegen auch die Schwingungsmethode noch zur Geltung bringen.

In den Jahren 1834 — 36 haben sich Sartorius v. Waltershausen und Listing auf ihrer Reise nach Italien der Methode bedient, einen Stab erst horizontal, dann vertical in einer auf dem magnetischen Meridiane senkrechten Ebene schwingen zu lassen, und aus dem Verhältnisse der Totalkraft des Erdmagnetismus zu der horizontalen Componente die Inklination abzuleiten. Da bei den verticalen Schwingungen die Schwingungsaxe nicht durch den Schwerpunkt ging, so müßte durch Wiederholung derselben Operation nach Umkehrung der Pole der Einfluß

dieses Umstandes eliminirt werden. Die Schwingungsaxe eines solchen **Oscillations-Inklinatoriums** kann aus einer runden Axe, oder einer Messerschneide, oder aus zwei Spitzen bestehen; v. **Waltershausen** und **Listing** haben Spitzen gebraucht, wodurch man versichert ist, bei den beiden verticalen Schwingungen genau dieselbe Schwingungsaxe zu erhalten. Praktisch bietet die Methode indessen Schwierigkeiten dar, indem z. B. jede Unregelmäßigkeit der Lager und der Axe oder der Spitzen, worauf der Magnet bei verticaler Stellung schwingt, auf die Schwingungsdauer Einfluß hat, ein Einfluß, der sich nicht eliminiren läßt *).

Das Verfahren, welches **Gauß** **) anwendete, kommt im Wesentlichen auf Folgendes hinaus. Man stelle den Verticalkreis in den Meridian und beobachte die Neigung f_0, dann ändere man das Azimuth um 180°, lege die Nadel wieder auf, so daß ihre Axe gegen die Weltgegenden wieder dieselbe Lage habe, und beobachte die Neigung $180° - f_1$, alsdann wird $\frac{1}{2}(f_0 + f_1) = f$ die von dem Fehler der Lager und des Nullpunktes befreite Neigung für die eine Stellung der Zapfen sein. Analog mit f erhält man eine zweite Bestimmung g, wenn man die Zapfen verwechselt, d. h. den Zapfen, welcher in den beiden ersten Messungen gegen Westen gerichtet war, nun nach Osten stellt. Dann muß die Nadel umgestrichen, und die mit f und g correspondirenden Winkel f' und g' bestimmt werden. Außer diesen durch das Inklinatorium selbst gegebenen Daten muß man vermittelst eines eigenen Schwingungs-Apparates vor und nach dem Umstreichen die Schwingungszeiten T und T' der Nadel in horizontaler Lage bestimmen. Um nun aus diesen sechs Größen die wahre Neigung zu finden, bildet **Gauß** folgende Gleichungen:

$$i = f + c - t \, . \cos . f + u \, . \sin . f$$
$$i = g - c - t \, . \cos . g - u \, . \sin . g$$
$$i = f' + c' - \lambda t . \cos . f' - \lambda u . \sin . f'$$
$$i = g' - c' + \lambda t . \cos . g' + \lambda u . \sin . g'.$$

Hier bedeutet c und c' den Collimationsfehler der Nadel, d. h. den Winkel zwischen der magnetischen Axe und der durch die Spitzen der Nadel gehenden Linie vor und nach dem Umstreichen; t und u sind kleine Größen, durch deren Elimination man den Werth von i findet, ohne daß ihre Bestimmung an und für sich von Interesse wäre; λ ist gleich $\frac{T_1^2}{T^2}$. In sofern man nicht durch besondere Hülfsmittel c und c' bestimmt, was man nach **Gauß** dadurch thun kann, daß man vor und nach dem Umstreichen die Nadel als Declinations-Magnet aufhängt und durch Mikroskope die Werthe von c und c' ermittelt, muß man (was immerhin nahe richtig sein wird) $c = c'$ annehmen.

Bei allen eben angegebenen Methoden die Inklination der Magnetnadel zu bestimmen bleiben immer zwei erschwerende Umstände: 1) die Nothwendigkeit, die Magnetnadel während der Messung neu zu magnetisiren, um die Pole umzukehren, 2) die Nothwendigkeit der verticalen Drehung, bei welcher sich die Einflüsse der

*) Vergl. **Lamont** in Dove's Repert. Bd. VII. S. XXVII.
**) Result. des magnetischen Vereins für 1841. S. 11.

Schwere mit den magnetischen Kräften vereinigen, deren Scheidung schwer hält. W. Weber hat sich deshalb bemüht, eine Methode zu ermitteln, die Inklination der erdmagnetischen Kraft ohne Umkehrung der Pole, mit einer nur in horizontaler Ebene drehbaren Boussole zu messen. Er fand eine Basis für seine Untersuchungen in der Einwirkung der galvanischen Kraft auf die Magnetnadel (s. Art. Elektromagnetismus Bd. II. S. 781 ff.), eine Einwirkung, welche nach dem Inductionsgesetze (s. Art. Induction, elektrische) in einem bewegten galvanischen Leiter vom Erdmagnetismus eben so hervorgebracht werden kann, wie vom Stabmagnetismus. Es ist nun klar, daß diese Wirkung des Erdmagnetismus, wenn sie genau beobachtet und gemessen wird, zur Erforschung der Ursache, d. h. zur Erforschung des Erdmagnetismus selbst dienen kann.

Von diesem Gedanken geleitet construirte W. Weber bereits 1837 ein Inductions-Inklinatorium*). Es hatte dies Instrument jedoch noch den Mangel, daß sich mit demselben die magnetometrische Einrichtung zur feineren Beobachtung nicht verbinden ließ, weshalb auch die angegebene neue Methode praktisch erfolglos blieb. Neuerdings 1852 **) ist es aber demselben gelungen, auch diesen Mangel zu beseitigen und Einrichtungen zu treffen der Art:

1) daß die durch Vermittelung der Induction mit dem Magnetometer gemachten Inklinationsbestimmungen an Präcision auch den durch die sorgfältigsten Beobachtungen mit den besten bisherigen Inklinatorien gewonnenen Resultaten nicht nachstehen;
2) daß dadurch eine große Erleichterung und Vereinfachung für die Ausführung der Messungen gewonnen wird;
3) endlich daß durch Combination einer größeren Anzahl solcher zu allen Tages- und Nachtzeiten anstellbaren Beobachtungen die Bestimmung der Inklination von dem Einflusse der täglichen Variationen unabhängig erhalten werden kann, was für die Erforschung der Säcular-Variationen wichtig ist und mit den bisher gebrauchten Instrumenten nicht erreichbar war.

Wegen der näheren Einrichtung und des Gebrauches dieses Instrumentes verweisen wir auf die Artikel Induction, elektrische und Neigung der Magnetnadel; hier sei nur noch bemerkt, daß in festen Observatorien, wo man schon zur Bestimmung der anderen magnetischen Elemente sich der Magnetometer bedient, diese Weber'sche Methode durch Vereinfachung der Arbeit und Gleichförmigkeit in der Behandlung aller drei Elemente des Erdmagnetismus große Vortheile bietet. Auf Reisen hingegen werden die bisherigen Inklinatorien immerhin ihre Vorzüge geltend machen, welche sie in ihrer leichten Transportabilität besitzen.

Daß man für den Gebrauch zur See den Inklinationsapparat nicht aufstellen, sondern frei schwebend aufhängen muß, damit er sich selbst in die verticale Richtung versetzen könne, versteht sich von selbst. Wegen der nie aufhörenden Schwan-

*) Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 493; Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins. Hft. II. S. 81.
**) Pogg. Ann. Bd. XC. S. 209; aus: Abhandl. d. K. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen. Bd. V.

kungen, selbst bei sonst ruhigem Wetter, muß man sich begnügen die äußersten Ausschläge der Nadel zu bestimmen, um daraus den eigentlichen Stand zu ermitteln. Indessen werden am Bord eines Schiffes angestellte Beobachtungen nie auf große Zuverlässigkeit Anspruch machen können, da der Magnetismus des Schiffseisens eben so auf die Inclinationsnadel von Einfluß sein wird, wie auf die Declinationsnadel, worüber wir auf Artikel Ablenkung verweisen, woselbst auch auf Poisson's diesen Gegenstand betreffende Untersuchungen Bezug genommen ist. H. E.

Instrumente, s. Apparat.

Interferenz (v. dem engl. Worte to interfere, zusammentreffen, widerstreiten) bezeichnet ein vollständiges oder theilweises Ausgleichen der in einem Körper (Medium) durch Wellenbewegungen hervorgerufenen Veränderungen, sobald verschiedene Wellensysteme sich durchkreuzen.

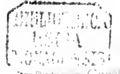
In sofern wir hier nur mit diesen Ausgleichungen uns zu beschäftigen haben, müssen wir wegen der übrigen Verhältnisse der Wellenbewegung auf den Artikel Wellen verweisen.

A. Interferenz auf der Oberfläche eines Mediums.

Durchkreuzen sich z. B. zwei Wasserwellensysteme, so schreitet jedes in Bezug auf die Richtung fort, ohne von dem anderen eine Störung zu erleiden, nur tritt ein kleiner Zeitverlust in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit ein und eine Veränderung der Gestalt an den Kreuzungsstellen. Da wo zwei Wellenberge von gleicher Höhe sich begegnen, entsteht ein fast doppelt so hoher Wellenberg, eben so bilden zwei gleich tiefe Wellenthäler ein fast doppelt so tiefes Thal, indem die Verschiebung der einzelnen Wassertheilchen in beiden Fällen durch zwei gleiche Kräfte in gleichem Sinne erfolgt, die resultirende Bewegung mithin mit verdoppelter Stärke eintreten muß. Begegnen sich ein Wellenberg und ein Wellenthal, so gleichen sich dieselben entweder vollständig oder theilweise aus, so daß das ursprüngliche Niveau hergestellt wird, oder ein kleineter Wellenberg oder ein kleineres Wellenthal sich bildet, als ein System für sich erzeugen würde, je nachdem das Volumen des Wellenberges dem des Thales gleich ist, oder dasselbe übertrifft oder demselben nachsteht. Aehnliche Verhältnisse treten ein, wo verschiedene Wellenphasen zusammentreffen.

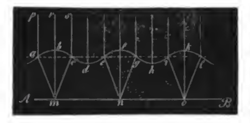
Was hier vom Wasser ausgesagt ist, gilt von allen tropfbaren Flüssigkeiten. Zur Beobachtung im Kleinen kann man sich daher auch jeder anderen Flüssigkeit bedienen; und besonders empfiehlt sich hierzu eine Quecksilberoberfläche. Man lasse z. B. aus zwei feinen, nahe bei einander angebrachten Oeffnungen in einer Flasche, Quecksilber auf eine Quecksilberfläche tröpfeln. Weber *) bediente sich einer schmalen Rinne, erregte ein Wellensystem und beobachtete die Interferenzen, welche zwischen diesem Systeme und dem durch Zurückwerfung entstandenen neuen Systeme eintraten. Interessant ist der Fall, wenn man in den einen Brennpunkt eines elliptischen Gefäßes, welches mit Quecksilber gefüllt ist, Quecksilbertropfen

*) Wellenlehre, auf Experimente gegründet rc. Leipzig 1825. S. 225.



fallen läßt. Poppe *) hat ein besonderes Interferenzoskop zur Darstellung und Beobachtung der Interferenzerscheinungen bei Wasserwellen construirt. Er erregt auf einer Wasserfläche Systeme rasch auf einander folgender Wellen (100 bis 200 in 1 Secunde), und benutzt die Brechung der Lichtstrahlen in der Flüssigkeit, um die Interferenzen der Wellenberge als hellglänzende unbewegliche Linien auf einem weißen Grunde oder auf einer transparenten Scheibe erscheinen zu lassen.

Folgendes ist das Princip, auf welchem dieser Apparat beruht. Es stelle abc...l in beistehender Figur den Durchschnitt einiger durch Interferenz entstandener Wellen dar, welche von senkrecht einfallenden Sonnenstrahlen ap, br, cs.... getroffen werden. Die Wellenberge abc, efg.... wirken in diesem Falle in ähnlichem Sinne, wie Convergläser; sie concentriren die einfallenden Strahlen in eine Brennlinie, während die Wellenthäler cde, ghi.... in dem Sinne von Concavgläsern eine Zerstreuung der Lichtstrahlen bewirken.

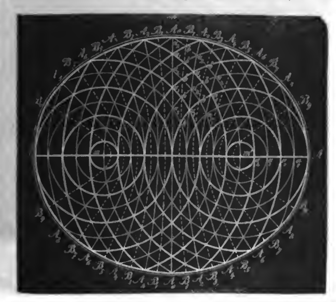


Befindet sich nun unter der Oberfläche des Wassers eine weiße Fläche AB in der gehörigen Brennweite, so werden die von den Wellenbergen aufgefangenen Strahlenbündel auf dem weißen Grunde in m, n, o... zu hellen Lichtlinien vereinigt erscheinen, während die von den Wellenthälern aufgefangenen Strahlen innerhalb der Räume mn, no... sich zerstreuen und daselbst nur eine matte Beleuchtung hervorbringen. — Der Wasserbehälter ist ein rectangulärer, 14 Z. langer, 10 Z. breiter, 3 Z. tiefer, inwendig geschwärzter Blechkasten, der auf drei Adjustirschrauben steht und an der Seite einen Hahn hat zum Ablassen des Wassers und zum Einstellen des Niveaus. Zur Auffangung der Lichtstrahlen nach ihrer Brechung im Wasser dient eine gewöhnliche durchsichtige Glasscheibe, welche in eine Oeffnung des Behälterbodens wasserdicht eingesetzt ist und mit einem Blatte feinen, durch ein Messingrähmchen beschwerten, Postpapiers bedeckt wird. Wegen des Mechanismus zur Erregung der Wellen müssen wir auf die angegebenen Quellen um so mehr verweisen, als gerade an diesem Theile des Apparates in der zweiten der angeführten Stellen wesentliche Verbesserungen angegeben sind, was uns hier zu weit führen würde.

Um die Interferenzerscheinungen näher zu veranschaulichen, denken wir uns in m und m' (s. d. umstehende Figur) die Mittelpunkte zweier Wellensysteme; die stark ausgezogenen Kreise mögen die in einem bestimmten Augenblicke bestehenden Wellenberge und die fein ausgezogenen die gleichzeitigen Wellenthäler vorstellen. Verfolgen wir die Punkte $a_1\,a_1$, an welchen zwei Wellenberge zusammentreffen und also einen fast doppelt so hohen Berg bilden, so ergiebt sich, daß die in den Linien $A_0\,A_0$ liegenden von den Mittelpunkten m und m' gleich weit abstehen, die in den Linien $A_2\,A_2$ liegenden aber um 2 halbe Wellenlängen von dem einen Mittelpunkte weiter entfernt sind, als von dem anderen, eben so die in den Linien $A_4\,A_4$ um

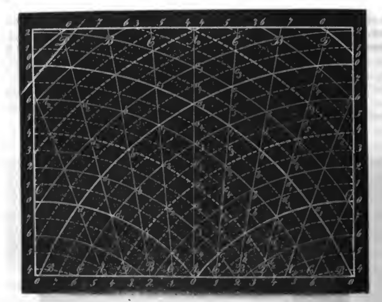
*) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 437 u. Bd. LXXXVIII. S. 223.

4 halbe Wellenlängen u. s. f. In den Punkten a_2 a_2 bilden zwei zusammentreffende Wellenthäler ein ziemlich doppelt so tiefes Thal und von den in den Linien $A_0 A_0$, $A_2 A_2$, $A_4 A_4$ ... liegenden gilt dasselbe, wie vorher. Die in den



Linien $B_1 B_1$, $B_3 B_3$, $B_5 B_5$ liegenden Punkte $b\,b$, in welchen Wellenberge und Wellenthäler von gleicher Höhe und Tiefe interferiren, stehen von dem einen Mittelpunkte um 1, 3, 5 ... halbe Wellenlängen weiter ab, als von dem anderen. Aus dieser Betrachtung ergiebt sich ohne Weiteres, daß die Linien $B_1 B_1$, $A_2 A_2$, $B_3 B_3$ .... Hyperbeln sind.

In dem Vorstehenden haben wir nur die Rücken der Wellenberge und die tiefsten Stellen der Wellenthäler ins Auge gefaßt. Wollen wir uns auch die Schwingungszustände zwischen den erhaltenen Linien anschaulich machen, so müssen wir uns die einzelnen Wellen in mehrere gleiche Theile zertheilen und die einzelnen Phasen verfolgen. Wir entwerfen daher einen Theil der vorigen Figur in größerem Maßstabe und theilen die Wellenlänge in 8 gleiche Theile. Die stark ausgezogenen Linien der umstehenden Figur stellen die Rücken der Wellenberge vor; die mit 1, 2, 3 ... 7 bezeichneten Bogen repräsentiren gleiche Schwingungsphasen, wie sie von dem einen oder anderen Mittelpunkte fortgeschritten sind. Es sind mithin die Bogen 4 die tiefsten Stellen der Thäler, da sie die Mitte der Wellen einnehmen; die Bogen 2 und 6 Stellen, an welchen ein Wellenberg in ein Wellenthal oder umgekehrt übergeht, also Stellen, an welchen das Niveau mit dem ursprünglichen zusammenfällt, oder Niveaulinien; die Bogen 1 und 7 bezeichnen die Wellenphasen in der Mitte zwischen einem Wellenberge und einer Niveaulinie, und eben so die Bogen 3 und 5 die in der Mitte zwischen einer Niveaulinie und einem Wellenthale.



B. Interferenz im Inneren eines Mediums.

Denken wir uns die Mittelpunkte der Wellensysteme im Inneren des Mediums, z. B. in der atmosphärischen Luft, so erhalten wir (s. Art. Wellen) Verdichtungen und Verdünnungen, welche in Kugelflächen um die Erregungspunkte als Mittelpunkte liegen, jene den Wellenbergen, diese den Wellenthälern auf den Oberflächen entsprechend.

Auf gleiche Weise wie vorher treten auch in diesem Falle Interferenzen ein, indem bei der Durchkreuzung zweier Wellensysteme an den Stellen, in welchen zwei Verdichtungsschalen zusammentreffen, eine größere Verdichtung und an denjenigen, wo dasselbe mit zwei Verdünnungsschalen stattfindet, eine größere Verdünnung eintreten muß, indem die Bewegung der einzelnen Massentheilchen nun von zwei Kräften in gleichem Sinne erregt wird. Begegnen sich hingegen eine Verdichtungs- und eine Verdünnungsschale von respective gleicher Stärke, so wird dies eine Herstellung der ursprünglichen Dichtigkeit des Mediums zur Folge haben, also vollständige Interferenz, während entgegengesetzte Phasen von nicht gleicher Intensität nur eine unvollständige Interferenz bei ihrem Zusammentreffen herbeiführen.

Die vorher gebrauchten Zeichnungen können auch für diesen Fall als Veranschaulichungsmittel dienen, falls man nur die Linien, welche dort die Rücken der Wellenberge vorstellen, als die Stellen der größten Verdichtung betrachtet u. s. f.

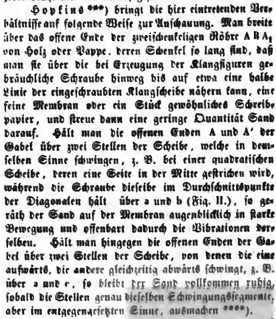
Erscheinungen, welche auf diesen Principien beruhen, zeigen sich bei den Schwingungen in der atmosphärischen Luft, also bei dem Schalle, und bei den Schwingungen des Aethers, welche den Erscheinungen des Lichts und wohl auch der Wärme zu Grunde liegen.

a. Interferenz des Schalles.

Auf die Erscheinungen der Interferenz als solcher scheint zuerst beim Schalle aufmerksam gemacht zu haben Vieth im Jahre 1804 *); dann haben aber zunächst die Gebrüder E. und W. Weber die genauesten Untersuchungen hierüber angestellt **).

Vieth's Beobachtung besteht darin, daß, wenn man eine tönende Klangscheibe bei dem Ohre vorbeiführt, der Ton verschwindet, sobald die gegen die Fläche des Ohres senkrechte Scheibe mitten vor dem Ohre sich befindet, dahingegen wieder erscheint bei weiterer Fortbewegung der Scheibe. Führt man die dem Ohre parallel gehaltene Klangscheibe vor dem Ohre dicht vorbei, so verschwindet der Ton über jeder Ruhelinie des darauf gestreuten Sandes.

I.



II.

Hopkins ***) bringt die hier eintretenden Verhältnisse auf folgende Weise zur Anschauung. Man breite über das offene Ende der zweischenkeligen Röhre A B A₁ von Holz oder Pappe, deren Schenkel so lang sind, daß man sie über die bei Erzeugung der Klangfiguren gebräuchliche Schraube hinweg bis auf etwa eine halbe Linie der eingeschraubten Klangscheibe nähern kann, eine feine Membran oder ein Stück gewöhnliches Schreibpapier, und streue dann eine geringe Quantität Sand darauf. Hält man die offenen Enden A und A' der Gabel über zwei Stellen der Scheibe, welche in demselben Sinne schwingen, z. B. bei einer quadratischen Scheibe, deren eine Seite in der Mitte gestrichen wird, während die Schraube dieselbe im Durchschnittspunkte der Diagonalen hält, über a und b (Fig. II.), so geräth der Sand auf der Membran augenblicklich in starke Bewegung und offenbart dadurch die Vibrationen derselben. Hält man hingegen die offenen Enden der Gabel über zwei Stellen der Scheibe, von denen die eine aufwärts, die andere gleichzeitig abwärts schwingt, z. B. über a und c, so bleibt der Sand vollkommen ruhig, sobald die Stellen genau dieselben Schwingungssegmente, aber im entgegengesetzten Sinne, ausmachen ****).

Aus diesem Versuche ergiebt sich entschieden, daß das Trommelfell bei dem Vieth'schen Versuche die Stelle der Membran vertritt.

*) Dove's Repertorium der Physik. Bd. III. S. 91.

**) Wellenlehre. S. 507; vergl. Schweigg. Journ. Bd. XLVI. S. 108; Bd. XLVIII. S. 375; Bd. L. S. 247.

***) Pogg. Ann. Bd. XLIV. S. 246 u. 603.

****) Häufig bildet der Sand im ersten Falle auf der Membran eine Klangfigur, welche indessen nichts mit derjenigen auf der Klangscheibe gemein hat. Die Figur auf der Membran ist von der Länge der gemeinschaftlichen Röhre der Gabel abhängig und um die zweckmäßige Länge sich verschaffen zu können, trifft man wohl auch die Einrichtung, die Membran auf eine besondere Röhre zu spannen, welche auf dem Ende B verschiebbar ist.

Statt der Klangscheibe, deren sich Vieth bediente, wendete Dove *) eine kreisrunde Glocke an. Während des Tönens krümmt sich diese elliptisch und zwar so, daß die Brennpunkte dieser Ellipse, wenn sie in dem einen Durchmesser im Mittelpunkte zusammengefallen sind, dann sogleich in dem darauf senkrechten Durchmesser aus einander gehen. Die von vier Punkten, welche um Quadranten von einander abstehen, ausgehenden Verdichtungen und Verdünnungen heben sich bei ihrem Zusammentreffen in der Mitte daher vollkommen auf. Zu diesem Versuche reicht eine Glasglocke, etwa von den Dimensionen der kleinen Campane einer Luftpumpe aus, die man angeschlagen oder mit dem Violinbogen gestrichen vor dem Ohre vorüberführt.

Weber's Beobachtungen bezogen sich auf die Stimmgabel. Dreht man eine solche, nachdem sie zum Tönen gebracht ist, vor dem Ohre herum, so nimmt man den Ton wahr, wenn eine der Flächen einer Zinke dem Ohre zugewendet ist, aber der Ton verschwindet, sobald eine der Kanten dem Ohre gegenübersteht, was also während einer ganzen Umdrehung der Gabel viermal eintritt. Die nach innen schwingenden Zinken verdichten nämlich die Luft in dem Zwischenraume, während gleichzeitig an den Außenflächen Verdünnungswellen entstehen, und umgekehrt.

Zweckmäßig ist es, die Gabel über einem mittönenden Glase klingen zu lassen. Man nimmt hierzu ein cylindrisches Glas — etwa 6 bis 8 Zoll hoch und 3 bis 4 Zoll weit — und bringt dasselbe, falls es nicht schon an sich eben den Ton, wie die Stimmgabel, giebt, durch eingegossenes Wasser auf diesen Ton. Der Ton der Stimmgabel wird hierdurch sehr verstärkt und es können gleichzeitig mehrere Personen die Beobachtung machen. Weber gab dem Glase nur eine Oeffnung von 0,3 Linien Weite und fand durch genaue Messungen, daß die Interferenzpunkte in derselben Entfernung und Winkelrichtung gegen den Querschnitt der Zinke der Stimmgabel liegen, man mag der Oeffnung einen Punkt der Länge der Zinke, welchen man will, gegenüber stellen, ferner daß die Winkelrichtung, welche man der Stimmgabel geben muß, eine andere ist bei verschiedenen Entfernungen der Oeffnung von derselben. Der geometrische Ort der Interferenzpunkte bildet eine gekrümmte Fläche, deren geradlinige Durchschnittslinien mit der Längenaxe der Zinke parallel sind; die auf diese senkrechten Querschnitte sind aber hyperbolisch und umgeben den Querschnitt der Stimmgabel in einer symmetrischen Stellung, so daß die Brennpunkte der Hyperbeln in den Kanten der Stimmgabel liegen.

In Folge eines Vorschlags von Herschel **), eine Röhre zu construiren, welche unter einer gewissen Anzahl in ihr fortschreitender Töne einen bestimmten unterdrückt, ließ Kane ***) Röhren von nebenstehender Form anfertigen, in welchen die Schallwellen zwei Wege zurücklegen mußten, die sich z. B. in der einen wie 3 : 2, in der anderen

*) Pogg. Ann. Bd. XLIV. S. 272.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 245.
***) Phil. mag. T. VII. p. 301. (1835). Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 435.

wie 7 : 6 verhielten; die Längen waren nämlich 15″ : 10″ und 21″ : 18″. Hierbei bleiben von den Tönen, welche eine solche Röhre geben kann, diejenigen aus, bei welchen die Verdichtungswelle durch die eine Wegleitung mit der Verdünnungswelle durch die andere zusammenfällt. Bei der Röhre mit dem Verhältnisse 3 : 2 gab die kürzere Röhre allein die Töne $\bar{e}$, $\bar{\bar{e}}$, $\bar{\bar{h}}$ und $\bar{\bar{\bar{e}}}$, die längere allein a, $\bar{a}$, $\bar{\bar{e}}$, $\bar{\bar{a}}$, $\bar{\bar{\bar{c}}}$, $\bar{\bar{\bar{e}}}$. Wurden die Röhren zusammengestimmt, so wurden die Töne des längeren Rohres, welche sich auch unter denen des kürzeren Rohres fanden, wie $\bar{\bar{e}}$, $\bar{\bar{\bar{e}}}$ mit höherer Deutlichkeit erhalten; $\bar{\bar{a}}$ und $\bar{\bar{h}}$ schienen in einander zu fließen und $\bar{e}$ war ganz verschwunden. — Noch entschiedener waren die Ergebnisse der anderen Röhre mit dem Verhältnisse 7 : 6. Die Tonreihe der kürzeren Röhre allein war: f, $\bar{f}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{f}}$ und $\bar{\bar{\bar{e}}}$, die der längeren: d, $\bar{d}$, $\bar{a}$, $\bar{\bar{d}}$, $\bar{\bar{f}}$, $\bar{\bar{a}}$ und $\bar{\bar{\bar{d}}}$. Beim Anblasen erhielt man die Töne: d, f, $\bar{\bar{d}}$, $\bar{\bar{f}}$, $\bar{\bar{a}}$, $\bar{\bar{\bar{e}}}$ und $\bar{\bar{\bar{d}}}$, so daß mithin aus den Tönen des kürzeren Rohres die Töne $\bar{f}$ und $\bar{\bar{e}}$, und aus denen des längeren die Töne $\bar{d}$ und $\bar{a}$ verschwunden waren.

Wheatstone's Versuche *) zur Bestätigung der Bernouilli'schen Theorie, daß, wenn eine an beiden Enden offene Röhre den Grundton angiebt, die Luftportionen zu beiden Seiten der Mitte der Röhre sich in entgegengesetzter Richtung zu einander bewegen, gehören auch hierher.

Eine ungefähr einen Zoll weite, 18 Zoll lange Röhre wurde zu einem Kreise umgebogen, so daß die offenen Enden einander nahe gegenüberstanden; in der Mitte befand sich aber ein Gewinde, durch welches eine Drehung der Röhre in die Form eines S möglich wurde. Eine Klangscheibe wurde zwischen den einander zugekehrten Enden eingeschaltet, welche den Grundton angab, und es wurde in dem Rohre keine Resonanz erzeugt, während diese sehr stark hervortrat, wenn die Röhre in ihrer Mitte so gedreht wurde, daß die beiden einander nun nicht mehr gegenüberstehenden Enden über Theile der Klangscheibe zu stehen kamen, welche in Beziehung auf diese entgegengesetzt, in Beziehung auf die Röhrenöffnungen aber gleichartig schwangen.

Seebeck **) hat interessante Interferenzversuche mit der Lochsirene angestellt. Dieser Apparat besteht aus einer hölzernen, mit Blei beschwerten und um eine horizontale Axe drehbaren Scheibe von $7^1/_4$ Zoll Durchmesser. Auf dieser Scheibe wird concentrisch eine größere Scheibe (12 Zoll Durchmesser) von dünner, glatter Pappe befestigt, an deren Umfang in 4 bis $5^1/_2$ Zoll Entfernung von dem Mittelpunkte, in gleichen Abständen Löcher durchgeschlagen werden. Die Axe läßt sich mittelst eines Wellrades und Schnurlaufes in Bewegung setzen. Dieser Apparat kann nun während der Drehung entweder dadurch zum Tönen gebracht werden, daß man vermittelst einer Röhre einen Luftstrom gegen die Löcher bläst, oder auch, wenn man eine aus einem Kartenblatte geschnittene Spitze so gegen die Scheibe hält, daß sie in die Löcher einschlagen muß.

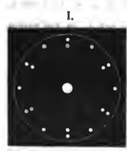
---

*) Pogg. Ann. Bd. XXVIII. S. 446.
**) Pogg. Ann. Bd. LIII. S. 417.

Läßt man durch zwei Röhren von entgegengesetzten Seiten her zwei Luftströme gegen die Löcher wirken, in der Art, daß die Röhren während der Umdrehung der Scheibe gleichzeitig zwei verschiedenen Löchern gegenüber stehen, so hört man keinen Ton, sondern nur ein Sausen, wie wohl jeder einzelne Luftstrom, wenn er allein wirksam ist, deutlich ein und denselben Ton hervorbringt. In jenem Falle heben sich nämlich die beiden entgegengesetzten Luftströme während ihrer Fortpflanzung und also auch im Ohre des Beobachters gegenseitig auf. Werden die Löcher von den entgegengesetzten Luftströmungen nicht gleichzeitig, sondern alternirend getroffen, so hört man den ursprünglichen Ton verstärkt.

Wenn sich in der Scheibe zwei concentrische Lochreihen befinden, von denen die eine doppelt so viele Löcher hat, als die andere, wie in beistehender Figur I., so hört man beim gleichzeitigen Anblasen beider Löcherreihen von derselben Seite her zwei Töne, deren einer die Octave des anderen ist. Geschieht aber das Anblasen von entgegengesetzten Seiten her, dergestalt, daß jeder Luftstoß des tieferen Tones mit einem des höheren zusammentrifft, so verschwindet der höhere Ton und der tiefere wird allein gehört. Hier wird der Luftstoß, welcher durch ein Loch der inneren Reihe hervorgebracht wird, durch den entgegengesetzten des gleichzeitig angeblasenen Loches der äußeren Reihe aufgehoben, so daß die Hälfte der Luftstöße der äußeren Löcherreihe ohne Wirkung bleibt und derselbe Ton gehört wird, als wenn nur die andere Hälfte der äußern Löcher vorhanden wäre. Dieser Ton ist also die nächst tiefere Octave des allen äußeren Löchern entsprechenden Tones.

I.



Eine eigenthümliche Erscheinung bietet der Fall dar, wenn die Löcher nicht gleich weit von einander entfernt sind, sondern immer ein größerer Zwischenraum mit einem kleineren abwechselt, doch so, daß alle kleineren Zwischenräume unter sich und alle größeren unter sich gleich sind (s. nebenstehende Figur II.). Bläst man nun einen Luftstrom gegen die Scheibe, während sie umgedreht wird, so hört man einen solchen Ton, als ob nur halb so viele Löcher da wären. Es scheinen sich hier die beiden in kürzeren Zwischenräumen auf einander folgenden Luftstöße zu einem einzigen zu vereinigen, und das um so mehr, je bedeutender der Unterschied der größeren und kleineren Zwischenräume ist. Ist dagegen die Differenz dieser Zwischenräume weniger ungleich, so hört man neben jenem Tone auch seine nächst höhere Octave, welche der Gleichheit aller Zwischenräume entspricht.

II.



An diese Interferenzerscheinungen schließt sich das sogenannte Schweben der Töne an, ein periodisch abwechselndes Anschwellen und Nachlassen derselben, welches stattfindet, wenn zwei nicht ganz isochrone Töne zu unserem Ohre gelangen. Diese Töne verstärken und schwächen sich abwechselnd, da bald Verdichtungen mit Verdichtungen, bald Verdünnungen mit Verdünnungen zusammentreffen; sobald

aber eine Verdichtung des einen Tones mit einer Verdünnung des anderen zusammenkommt, heben sich beide gegenseitig auf. Diese periodisch zum Bewußtsein kommenden Schwebungen der Töne nennt man nach Scheibler auch Stöße *). Hierbei tritt unter bestimmten Verhältnissen ein neuer Ton auf, den man Combinationston nennt.

Man bringt diese Stöße und Combinationstöne leicht hervor durch zwei Orgelpfeifen. Giebt die eine z. B. den Ton c, die andere die große Terz e, so erhält man als Combinationston die doppelte Unteroctave von c, weil bei dem Schwingungsverhältnisse 4 : 5 der beiden Töne alle fünften Schwingungen zusammenfallen, d. h. der neue Ton macht eine Schwingung, wenn c deren 4 und e deren 5 zurücklegt; eben so geben c und g, deren Schwingungsverhältniß 2 : 3 ist, die nächst niedere Octave von c, da alle dritten Schwingungen zusammenfallen, also der neu entstandene Ton eine Schwingung macht, wenn c deren 2 und g deren 3 zurücklegt; eben so geben c und d die dritte Unteroctave von c u. s. f. Stehen die Töne einer reinen Consonanz sehr nahe, so treten die Stöße mit Deutlichkeit auf. Hierbei verbleibt die Empfindung jedes einzelnen Tones, da die einander durchkreuzenden Wellensysteme sich nicht aufheben, durch das gegenseitige Verstärken und Schwächen der zusammentreffenden Verdichtungen und Verdünnungen entsteht aber die neue Empfindung, der Stoß. Bilden sich nun in der Zeiteinheit so viele Stöße, daß ihre Anzahl der Schwingungszahl eines Tones gleich ist, so vernimmt das Ohr nicht mehr die einzelnen Anschwellungen und Schwächungen des Tones, sondern statt dessen den Combinationston. Ist dieser neue Ton entstanden, so kann er sich mit den gleichzeitig erklingenden Tönen wiederum combiniren; als Folge davon ergeben sich also noch viele neue Töne.

Eine vollständige Erklärung der Combinationstöne besitzen wir noch nicht; Hallström **) giebt folgende Theorie, die aber nur Gültigkeit hat, wenn $\frac{s}{x}$ und $\frac{r}{x}$ ganze Zahlen sind.

Sind r und s die Schwingungen der gleichzeitig angestimmten Töne und x die Schwingungen des zugehörigen Combinationstones in einer Secunde, so vollbringen die tönenden Körper in derselben Zeit $\left(=\frac{1}{x}\right)$, in welcher dem Combinationstone eine Schwingung zukommt, respective $\frac{r}{x}$ und $\frac{s}{x}$ Schwingungen. Wenn aus ihrem Zusammenklingen eine einzige Pulsation hervorgehen soll, so müssen diese nothwendiger Weise in solchem Verhältnisse stehen, daß die Zahl $\frac{s}{x}$ um eine Einheit die Zahl $\frac{r}{x}$ übertrifft, so daß man $\frac{s}{x} = \frac{r}{x} + 1$ oder $x = s - r$ hat. Hiernach würde man folgende Combinationstöne erhalten:

*) Pogg. Ann. Bd. XXIX. S. 390; Bd. XXXII. S. 333 u 492. Vergl. Scheibler, der physikalische und musikalische Tonmesser. Essen 1834.

**) Pogg. Ann. Bd. XXIV. S. 443.

Ursprüngliche Töne.		Combinationstöne.
r, s	. . . .	s — r
s — r, r	. . . .	2r — s
2r — s, s	. . . .	2 (s — r)
2r — s, s — r	. . . .	3r — 2s

u. s. w.

Die hier ausgefallenen Combinationen führen auf bereits vorangegangene, also nicht auf neue Töne, z. B.: s — r und s geben r; 2r — s und r geben s — r u. s. f.

Die Stöße wurden zuerst beobachtet von Sauveur bereits im Jahre 1700; erst 1796 kam Sarti, Kapellmeister in Petersburg, hierauf wieder zurück. Die Combinationstöne hat zuerst beobachtet G. A. Sorge 1740 *), aber nur im Allgemeinen. Romieu 1753 fand wenig Beachtung, weit mehr Tartini 1754 **), nach welchem diese Töne auch Tartini'sche genannt zu werden pflegen. Die Identität der Stöße und Combinationstöne erkannte zuerst Thomas Young 1801 ***). Von den neueren Untersuchungen sind die wichtigsten von Hällström (a. a. O.), Scheibler (a. a. O.), Poggendorff ****), W. Weber *****), Seebeck †), Savart ††), Vincent †††).

Wie bei den Wellenbergen und Wellenthälern auf der Oberfläche tropfbarer Flüssigkeiten zwischen ursprünglich fortschreitenden und reflectirten Wellen Interferenzen eintreten, so ist es auch bei den Schallwellen der Fall. Am auffallendsten ist dies bei den stehenden Wellen (s. Art. Wellen), bei denen das Medium gleichsam in lauter einzelne für sich schwingende Abtheilungen zerlegt ist. Die sogenannten Bäuche sind die in Schwingung begriffenen Stellen, die Schwingungsknoten sind die Interferenzstellen.

Die hierher gehörigen Erscheinungen sind namentlich studirt worden von Savart ††††) und Seebeck †††††).

Werden Schallwellen von einer Wand zurückgeworfen, so werden durch die directen und die senkrecht reflectirten Wellen innerhalb des Raumes zwischen dem tönenden Körper und der reflectirenden Wand Knoten und Bäuche entstehen, wenn die beiden Wellenzüge aus Wellen von gleicher Länge und Amplitude bestehen, und zwar in der Weise, daß der Abstand zwischen zwei benachbarten Knoten gleich der halben Wellenlänge ist; haben aber die beiden Wellenzüge ungleiche

---

*) Anweisung zur Stimmung der Orgelwerke ꝛc. Hamburg 1744.

**) Trattato di Musica secondo la vera Scienza dell' Armonia. Padova 1754.

***) Vieth in Gilb. Ann. Bd. XXI S. 265 hat alles auf den hierdurch veranlaßten Streit Bezügliche zusammengestellt.

****) Ann. Bd. XXXII. S. 520.

*****) Pogg. Ann. Bd. XV. S. 216. Bd. XXVIII. S. 1.

†) Dove's Repert. der Phys. Bd. VI. S. 90; vergl. auch Röber, ebenda Bd. III. S. 1.

††) l'Instit. 1839. p. 462; 1840 p. 6.

†††) Ann. de Chim. et de Phys. (1849) T. XXVI. p. 37.

††††) Compt. rend. T. VII. p. 1068 Ann de Ch. et de Phys. T. LXXI. p. 20; Ser. III. T. XIV. p. 385. Pogg. Ann. Bd XLVI S. 458; Bd. LXVI. S. 374.

†††††) Pogg Ann. Bd. LIX. S. 177; Bd. LXVII. S. 145; Bd. LXVIII. S. 465; vergl. auch Dove's Repert. der Phys. Bd. VI. S. 18; Bd. VIII. S. 73.

Amplituden bei gleicher Wellenlänge, so werden sich keine eigentlichen Knoten, sondern nur Schwingungsminima bilden. Schreiten die reflectirten Wellen über die Stelle des tönenden Körpers hinaus, so haben sie mit den directen Wellen gleiche Richtung, und beträgt nun bei gleicher Amplitude der Gangunterschied eine ungerade Anzahl von halben Wellenlängen, so werden sich die beiden Wellenzüge auf ihrem ganzen Wege schwächen, beträgt aber der Gangunterschied eine gerade Anzahl halber Wellenlängen, so werden sich dieselben verstärken.

Savart hat diese Resultate bestätigt gefunden und nicht nur das abwechselnde Verstärken und Schwächen eines Tones, sondern auch in der Nähe der reflectirenden Wand Töne wahrgenommen, welche aus einem Geräusche ausgeschieden wurden.

In einer Entfernung von 40 bis 50 Meter von einer ebenen senkrechten Wand und 1,3 Meter über dem Boden wurde in einem übrigens nach allen Seiten freien Raume eine Glocke aufgestellt und von ihr ein gespannter Blechstreifen senkrecht gegen die Wand geführt, dessen Richtung die Reflexionsaxe heiße. Während die mit einem verstärkenden Gefäße versehene Glocke durch einen Violinbogen in Schwingung versetzt wurde und einen Ton von bedeutender und gleichmäßiger Stärke gab, wurde das der Tonquelle abgewandte Ohr, während das zugewandte verschlossen war, längs einer dem Blechstreifen möglichst nahen geraden Linie fortgeführt. Die Stärke des Tones war nicht in allen Punkten der Reflexionsaxe gleich, sondern in mehreren Punkten Null, in anderen erreichte sie ihr Maximum, und da die mit diesen Eigenthümlichkeiten begabten Punkte eine unveränderliche Lage zeigten, so war es möglich, sie auf dem Blechstreifen zu verzeichnen und ihre Abstände von einander zu messen. Die Knoten ergaben sich hierbei auf der ganzen Reflexionsaxe in nahe gleichen Abständen von einander; dieser Abstand war gleich der Hälfte der dem Tone der Glocke zukommenden Wellenlänge; die Bäuche standen eben so weit von einander ab und die Stärke des Tones nahm allmälig zu oder ab, je nachdem man sich einem Bauche näherte oder von demselben entfernte. Auffallend war bei der Beobachtung jedoch, daß die Entfernung des ersten Knotens von der Wand viel kleiner war, als eine halbe Welle; denn während der Mittelwerth der einzelnen Knotenabstände von einander, also der halben Wellenlänge, 0m,686 war, betrug diese Entfernung nur 0m,373.

Versuche mit höheren und tieferen Glocken, mit Orgelpfeifen und Saiteninstrumenten gaben übereinstimmende Resultate.

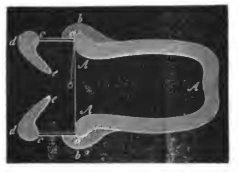
Seebeck wiederholte diese Versuche, ermittelte aber die Knoten und Bäuche nicht direct mit dem Ohre, sondern bediente sich einer in einem Ringe von 1½ Durchmesser ausgespannten Membran von Goldschlägerhäutchen oder sehr dünnen Kautschuk mit einem Pendelchen, das aus einem einfachen Coconfaden mit einem Siegellacktropfen von der Größe eines Stecknadelknopfes bestand und von dem oberen Rande bis zur Mitte der vertical gestellten Membran herabreichte. Die Membran, auf einem schmalen Ständer befestigt, wurde mit der reflectirenden Wand parallel gestellt, und konnte dieser genähert und von ihr entfernt werden. Er experimentirte zum Theil im Freien bei völliger Windstille, zum Theil, und zwar mit gleichem Erfolge, in einem großen Saale unter Bedingungen, welche einen merklich störenden Einfluß der von der Decke und den Wänden reflectirten Wellen nicht befürchten ließen. Als reflectirende Wand diente eine sehr große

und starke, vertical aufgestellte Tischplatte, und zur Hervorbringung des Tones wurde eine Glocke oder eine Stimmpfeife benutzt.

Bei diesen Versuchen ergab sich die Entfernung der Bäuche gleich einer ungeraden, und die der Knoten gleich einer geraden Anzahl von Viertelwellen.

Die Verschiedenheit seiner Resultate und derjenigen von Savart findet Seebeck dadurch herbeigeführt, daß er nicht unmittelbar mit dem Ohre, sondern mit der Membran die betreffenden Stellen bestimmte. Er vermuthete nämlich, daß die directen Wellen, welche um den Kopf des Beobachters herumgehen müssen, um zu dem der Wand zugekehrten Ohre zu gelangen, mit dieser Umbiegung ihrer Fortpflanzungsrichtung zugleich eine entsprechende Veränderung ihrer Schwingungsrichtung erleiden. Dies zur Entscheidung zu bringen, experimentirte er erstens auf die oben angegebene Weise mit der Membran, zweitens mit folgendem Apparate, in welchem er gewissermaßen den Kopf des Beobachters nachbildete.

Ueber die Oeffnung eines starken Porcellangefäßes A A A ist eine dünne Membran a a gespannt, an welcher ein paar leichte Pendelchen hängen, wie bei den vorhergehenden Versuchen. Auf den Umfang dieser Membran ist ein hohler Glascylinder c a a c aufgesetzt, und bei b b an dem Porcellangefäß mit Wachs so befestigt, daß alle Fugen dicht zugedeckt sind. Auf den anderen Rand c c dieses Cylinders ist eine Art Trichter d d e e aufgesetzt, welcher ebenfalls aus Wachs gebildet ist. (Die nebenstehende Figur stellt den Apparat dar in halber Größe im Längendurchschnitte.)



Der Schall kann zu der Membran nur durch den Trichter gelangen und ist dieser gegen die Wand gekehrt, so muß der directe Schall, da die Fortpflanzung durch die festen Theile des Apparates äußerst unvollkommen ist, erst an dem Gefäße vorbeigehen und dann bei d d umgebogen werden; der zurückgeworfene Schall dagegen tritt geradezu in den Trichter. Beide Wellenzüge müssen offenbar in diesem Falle ebenfalls interferiren.

Die Versuche mit diesem Apparate ergaben, daß die Knoten jetzt da liegen, wo vorher die Bäuche lagen, und umgekehrt. Es folgt also hieraus, daß bei der Beugung des Schalles zugleich mit der Richtung der Fortpflanzung auch die Schwingung umgebogen wird.

Der Widerspruch bei den in Rede stehenden Erscheinungen löst sich hierdurch vollständig und befriedigend auf. Höchst unwahrscheinlich erscheint dagegen Savart's Ansicht, daß die stehenden Wellen ihre unmittelbare Ursache in den Schwingungen der Wand haben, und daß die von der ursprünglichen Schallquelle herkommenden Wellen nur in sofern zu der Erscheinung mitwirken, als sie der Wand die Schwingungsbewegung ertheilen.

Auf die Interferenz der Schallwellen führt Kämtz *) auch das Rollen des Donners zurück, was wir hier jedoch nur beiläufig anführen, da bereits im Art. Gewitter Abth. Donner **) hierauf Bezug genommen ist.

b. Interferenz des Lichtes.

Die Principien der Interferenz des Lichtes sind zwar schon 1802 von Th. Young ***) aufgestellt, aber erst Fresnel hat durch seine ausgezeichneten Arbeiten es außer Zweifel gesetzt, daß die Verbreitung des Lichtes keine andere als eine wellenförmige sein kann ****). Wir müssen hier wegen des Eigenthümlichen in der die Empfindung des Lichtes erzeugenden Bewegung des Aethers auf den Art. Licht verweisen, und führen nur an, daß der Aether als ein sehr feines elastisches Fluidum zu betrachten ist, welches alle Himmelsräume erfüllt und alle Körper durchdringt, und daß das Wesen des Lichtes auf Schwingungen beruht, welche in demselben bis auf die Netzhaut unseres Auges fortgepflanzt werden.

Fresnel's entscheidender Versuch ist folgender: Fällt von dem leuchtenden Punkte f (s. beistehende Figur) auf zwei Spiegel c m und c m', welche unter einem sehr stumpfen Winkel zu einander geneigt sind, Licht, so müssen in den Punkten p und p' zwei einander sehr nahe liegende Spiegelbilder des leuchtenden Punktes entstehen. Die von den Spiegeln reflectirten Strahlen kommen scheinbar von den Punkten p und p', von denen jeder hinter dem entsprechenden Spiegel eben so weit entfernt liegt, als der leuchtende Punkt f vor demselben, so daß also f n = n p und f n' = n' p' ist. Diese reflectirten Strahlen werden sich vor den Spiegeln in einer gewissen Entfernung durchschneiden, und wendet man nun homogenes Licht an *****), so bilden sich abwechselnd helle und dunkle Streifen. Denken wir uns von p als Mittelpunkt aus einen Kreis mit dem Radius p b geschlagen, wo b auf der von c aus auf p p' senkrecht gezogenen Linie l c liegt, so



*) Meteorologie Bd. II. S. 435.

**) Bd. III. S. 598.

***) Gilb. Ann. Bd. XXXIX. S. 156. 206. 255, namentlich in Betreff der Interferenz S 262, aus: Philos. Transact. of the R. Soc. of London for 1802.

****) Pogg. Ann. Bd. III. S. 89 u. 303, namentlich S. 109—122; Bd. V. S. 223; Bd. XII. S. 197; Bd. XXX. S. 100; Fresnel, Mémoire sur la diffraction de la lumière in den Mém de l'Acad. roy. des sciences. T. V. p. 339.

*****) Vergl. Art. Farbe. Bd. III. S. 25 und 26.

befinden sich alle auf diesem Kreisbogen liegenden Aethertheilchen b, s, b', s' ... durch die von dem Spiegel cm reflectirten Strahlen in denselben Schwingungszustand versetzt, so daß sie alle in demselben Augenblicke nach derselben Richtung vibriren. Denken wir uns von demselben Punkte p aus durch s' einen zweiten Kreis geschlagen, aber mit einem um eine halbe Lichtwelle kleineren Radius, so müssen auf diesem alle Aethertheilchen in einer Richtung schwingen, welche derjenigen entgegengesetzt ist, in welcher sich die Aethertheilchen auf dem ersten Kreise bewegen. Die Figur stellt mehrere solcher concentrischer Kreise dar, und zwar so, daß die Entfernung zweier ausgezogener eine ganze, hingegen die Entfernung eines ausgezogenen und eines punktirten nur eine halbe Lichtwelle beträgt. Verfährt man in gleicher Weise mit dem Punkte p' als Mittelpunkt, so ergiebt sich der Schwingungszustand der Aethertheilchen durch die Reflexion von dem Spiegel cm'.

Da der Punkt b von den Punkten p und p' in gleicher Entfernung liegt, so sind auch die Wege igb und fhb einander gleich, folglich wird das Aethertheilchen in b von den beiden Wellensystemen, welche die Strahlen hb und gb fortpflanzen, nach derselben Richtung getrieben und seine Vibrationsintensität ist daher doppelt so groß, als wenn es nur durch ein Wellensystem in Bewegung gesetzt würde. Das Theilchen s erleidet von den durch den Spiegel cm reflectirten Strahlen dieselbe Einwirkung wie das Theilchen b, hingegen von dem durch den Spiegel cm' reflectirten Wellensysteme die gerade entgegengesetzte. Da sich beide Einwirkungen aufheben, so wird an dieser Stelle die Vibrationsintensität Null, und mithin entsteht hier Dunkelheit. Zu einem gleichen Resultate führt die Betrachtung anderer Punkte. In allen den Punkten, in welchen sich zwei ausgezogene oder zwei punktirte Kreise schneiden, wird die Intensität des Lichtes verstärkt, da beide Wellensysteme in demselben Sinne bewegend wirken; in allen den Punkten hingegen, in welchen sich ein ausgezogener und ein punktirter Kreis schneiden, entsteht Dunkelheit, weil die beiden Wellensysteme entgegengesetzt wirken. In den mit b bezeichneten Punkten tritt also eine Verstärkung des Lichtes ein, in den mit s bezeichneten Dunkelheit; bei den ersten sind die von den Lichtwellen zurückgelegten Wege um 0, 1, 2, 3 ..., bei den anderen um $^1/_2$, $^3/_2$, $^5/_2$ ... Wellenlängen unterschieden.

Dies eben aus der Wellentheorie abgeleitete Resultat fand Fresnel durch das Experiment bestätigt. Wegen der Wichtigkeit dieses Experimentes geben wir noch folgende nähere Bestimmungen *).

Ein Stück nicht zu dickes Spiegelglas von 2 bis 3 Zoll Länge, 1 bis $1^1/_2$ Z. Höhe, wird durch einen scharfen Diamantstrich in der Mitte geschnitten; beim Brechen entsteht dann auf der gegenüberliegenden Fläche meist eine gerade reine Kante; wäre es nicht der Fall, so versucht man es mit einem anderen Stücke. Auf den drei übrigen Rändern werden die Spiegel mit Sand roh zugeschliffen.

Sie werden nun auf der Seite, wo der Diamantschnitt gemacht wurde, mit Tusche geschwärzt, und deshalb vorher mit Fließpapier und Spiritus sorgfältig gereinigt, weil sich sonst nie eine gleichförmige Schwärze erzeugt. Die Tusche wird stark angerieben und mit einem Pinsel 4 bis 6 Mal aufgetragen, bis eine undurchsichtige Schicht entstanden ist. Die folgenden Anstriche müssen mit leichten parallel

*) Physikalische Technik von Frick. Braunschweig 1850. S. 167.

neben einander gesetzten Pinselstrichen gemacht werden, weil beim mindesten Reiben die schon angetrocknete Schicht wieder losgeht und dadurch Flecken entstehen.

Die so zugerichteten Spiegel befestigt man mittelst Klebwachs auf einem geschwärzten, aber nicht polirten Klötzchen, so daß sie mit der Schnittfläche an einander stoßen. An dieser Stelle müssen die Spiegel etwas niedergedrückt werden, bis sie eine Neigung gegen einander erhalten, die aber nur so schwach sein darf, daß man eine 10 bis 20 Schritte entfernte Fensterspange auf beiden Spiegeln nur eben noch doppelt sieht. Keiner der Spiegel darf über den anderen an der Schnittfläche hervorragen, worüber man sich durch das Gefühl mit der Fingerspitze versichert.

Nebenstehende Figur stellt die so angefertigten Interferenzspiegel dar zugleich mit einem an dem Klötzchen befestigten Stifte, um den Apparat auf einem Stative aufstellen zu können.

Kostspieliger sind die Apparate aus Stahlspiegeln, oder auch aus Glasspiegeln der oben beschriebenen Art, deren Neigung durch Federn und Schrauben regulirt werden kann. Als Lichtquelle kann man bei dem Versuche selbst das Sonnenbildchen im Brennpunkte einer Linse von kurzer Brennweite oder das auf einem Metallknopfe und dergleichen erzeugte Sonnenbild benutzen. Noch besser ist eine Lichtlinie, welche man entweder im Laden eines dunklen Zimmers vermittelst eines schmalen verticalen Spaltes, durch den man die Strahlen mit Hülfe eines vor dem Laden angebrachten Spiegels in horizontaler Richtung eintreten läßt, hervorbringt oder dadurch, daß man die Spalte vor die Flamme einer Argand'schen oder Brewster'schen *) Lampe setzt. Fresnel bediente sich zum Hervorbringen der Lichtlinie einer Cylinderlinse, welche aus zwei Cylindersegmenten zusammengesetzt ist.

Die beiden geschwärzten Spiegel werden in gleicher Höhe mit der Lichtflamme und etwa 10 bis 15 Schritte von ihr entfernt aufgestellt. Die Kante, in welcher die beiden Spiegel zusammenstoßen, muß der Flamme oder der Spalte so gut als möglich parallel gestellt werden, und die Spiegel selbst eine solche Lage haben, daß die Strahlen mit ihnen einen außerordentlich kleinen Winkel bilden, und das Auge in einer Entfernung von 1 bis 2 Fußen beinahe in gerader Linie mit der Mittellinie der Spiegel und der Spalte steht. Sieht man so die Kerzenflamme, so bemerkt man schon mit freiem Auge feine Interferenzlinien, wenigstens wenn man kurzsichtig ist, und die Sache schon kennt. Schöner aber und für jeden überraschend deutlich sieht man dieselben durch eine Loupe von 4 bis 6maliger Vergrößerung. Man befestigt dieselbe am zweckmäßigsten in der Mitte eines schwarzen gestielten Bretchens, welches in der angegebenen Entfernung auf einem Stative aufgestellt wird.

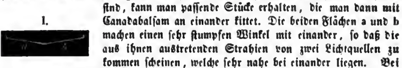
Pouillet ersetzte die Interferenzspiegel durch ein Interferenzprisma,

---

*) Art. Farbe. Bd. III. S. 26.

dessen beide Flächen a und b der beistehenden Figur einen kleinen brechenden Winkel haben. Von alten Spiegeln, welche mit einer schwachen Randfacette versehen sind, kann man passende Stücke erhalten, die man dann mit Canadabalsam an einander kittet. Die beiden Flächen a und b machen einen sehr stumpfen Winkel mit einander, so daß die aus ihnen austretenden Strahlen von zwei Lichtquellen zu kommen scheinen, welche sehr nahe bei einander liegen. Bei Versuchen mit einfarbigem Lichte sind dergleichen Prismen besonders brauchbar.

I.



Wendet man verschiedenes homogenes Licht an, so zeigen sich für die dunklen Streifen verschiedene Entfernungen; für homogenes Blau ist dieselbe z. B. kleiner als für Roth. Hieraus folgt, daß die Wellenlängen im Allgemeinen um so kürzer sind, je brechbarer die farbigen Strahlen sind. Eben darin ist es begründet, daß bei weißem Lichte die ersten hellen Streifen von der Mitte aus gerechnet nach Außen hin roth, nach Innen blau erscheinen. Fresnel maß die Entfernung der dunklen Streifen ss' (Fig. S. 109) von einander, die Neigung der beiden Spiegel m c und m' c und die Entfernung der Lichtquelle, berechnete hieraus die Wege der nach b, s', b', s''' .... durch den Spiegel c m reflectirten Strahlen, und bestimmte hieraus p b — p s' oder die halbe Wellenlänge. Die Resultate Fresnel's finden sich im Art. Farbenringe Newton's Bd. III. S. 79.

Das Schlagende in dem Fresnel'schen Versuche liegt darin, daß die interferirenden Lichtstrahlen beide in gleicher Weise regelmäßig nach anerkannt gültigen Gesetzen von den Spiegelflächen reflectirt werden, ohne daß dabei ein fremdartiger Umstand — etwa eine Molecularaction zwischen den Theilchen eines Körpers und denen des Lichtes — obwaltete, welcher auf das Resultat möglicherweise von Einfluß sein könnte. Man kann deshalb nicht anders, als das Interferenzprincip, und mit demselben die Undulations- oder Vibrationstheorie des Lichtes anerkennen.

Steht dies Princip fest, so ist klar, daß man die Interferenzerscheinungen auch noch auf anderem Wege wird zur Wahrnehmung bringen können. So ist es Lloyd gelungen, indem er directes und reflectirtes Licht auf einander einwirken ließ *).

Lloyd ließ durch eine schmale horizontale Spalte, die durch zwei in einem Rahmen verschiebbare Metallplatten gebildet wurde, Licht von einer Lampe gehen, und fing dies von der Spalte ausfahrende Licht in einem Abstande von ungefähr 3 Fuß mit einem schwarzen, wohl polirten und horizontalen Glase auf. Dieser Reflector wurde hierauf so befestigt, daß seine Ebene etwas unterhalb der Oeffnung lag, oder — mit anderen Worten — daß das Licht ungefähr unter 90° auf denselben fiel. In nebenstehender Fig. II. stelle a die Spalte vor, b den Reflector. Offenbar muß das bei b so schief reflectirte Licht b c mit dem unter einem sehr

II.



*) Poggendorff's Ann. Bd. XLV. S. 95 aus: Transact. of the R. Irish Acad. Vol. XVII. (1834.)

kleinen Winkel divergirenden directen Lichte a c bei c zusammentreffen mit einem Unterschiede im Wege, welcher fast einer unendlichen Verringerung fähig ist. Die beiden Lichtbündel sind also im Stande zu interferiren, und wirklich sah Lloyd, als er sie in kurzer Entfernung von dem Reflector mit einer Loupe auffing, ein sehr schönes Fransensystem, welches in jeder Hinsicht der einen Hälfte des im Fresnel'schen Versuche durch die beiden Spiegel gebildeten Systems ähnlich war.

Die erste Franse war eine helle und farblose; ihr folgte eine sehr scharf begrenzte schwarze, dann eine helle farbige und so abwechselnd fort. Am vollkommensten begrenzt waren diese Fransen, wenn die Loupe sich dicht am Reflector befand.

Einen interessanten Interferenzversuch hat Talbot angegeben *). In eine Karte mache man ein kreisrundes Loch, so groß als die Pupille des Auges. Die eine Hälfte dieses Loches bedecke man mit einem äußerst dünnen Glas- oder Glimmerblättchen. Betrachtet man nun durch diese Oeffnung ein Spectrum, welches mittelst eines Prisma von mäßiger Dispersion gebildet worden ist, so erscheint dasselbe auf seiner ganzen Länge bedeckt mit parallelen dunklen Strichen, ähnlich denen, welche durch Absorption in Jodgas erzeugt werden.

Die Ursache ist jedenfalls die, daß diejenige Hälfte des Lichtes, welche durch das dünne Glasblättchen gegangen ist, um eine gewisse Quantität in seinen Undulationen verzögert wird.

Poggendorff **) hat auf ein Interferenzphänomen aufmerksam gemacht, welches man an jedem Barometer, das mit Mikroskopen zur Ablesung versehen ist, an dem Fadenkreuze dieser Mikroskope beobachtet, sobald die Fäden hinreichend dünn sind, der erleuchtete Theil der Quecksilberkuppe hinter dieselben gestellt ist, und das Auge in schiefer Richtung, entweder von oben, von unten oder von der Seite her, in das Mikroskop blickt. Man trifft dann leicht die Stellung, bei welcher die Fäden, welche sich bei geradem Hineinsehen kohlenschwarz auf die Quecksilberfläche projiciren, im strengsten Gegensatze dazu silberweiß und leuchtend erscheinen.

Es versteht sich von selbst, daß die Interferenz der Lichtstrahlen nur stattfinden kann, wenn die interferirenden Bündel homogen sind, weil bei nicht-homogenen in den beiden einander überdeckenden Bewegungen kein bleibendes Verhältniß stattfindet. Das Interferenzphänomen wird indessen auch bei homogenen Lichtstrahlen immer schwächer, endlich ganz unwahrnehmbar, wenn man den Gangunterschied vergrößert. Fizeau und Foucault ***) haben hierauf bezügliche Untersuchungen angestellt.

Wenn ein und derselbe Ort im Raume durch zwei weiße aus derselben Lichtquelle stammende Lichtstrahlen erleuchtet ist, von denen der eine hinter dem anderen etwas zurück ist, so kann die Interferenz nur beobachtet werden, sobald der Gangunterschied — wie bei dem Fresnel'schen Spiegelversuche — nicht sehr bedeutend ist. Anstatt diesen erleuchteten Ort selbst zu betrachten, kann man ihn als Strahlungsmittelpunkt nehmen, einen begrenzten Theil davon durch eine Spalte

*) Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 234. Philos. Magaz. Ser. III. Vol. X. p. 364.

**) Ann. Bd. XLII. S. 516.

***) Compt. rend. T. XXI. p. 1153. Pogg. Ann. Ergänzungsb. Bd. LXXII. b S. 355; Inst. N. 621. p. 441.

gehen lassen, und hiermit durch eine passende brechende Vorrichtung ein sehr reines Spectrum erzeugen, welches bei Anwendung von Sonnenlicht nicht nur alle Frauenhofer'schen Linien *) zeigt, sondern außerdem noch von dunklen Interferenzstreifen, welche den festen Linien parallel sind, durchzogen ist. (S. Artikel Inflexion.)

Dieser Methode bedienten sich Fizeau und Foucault. Es läßt sich dieselbe sowohl für die Interferenzen anwenden, welche durch zwei geneigte Spiegel hervorgebracht werden, als für die durch die Reflexion an den beiden Flächen dünner Blättchen, oder für die durch die verschiedene Geschwindigkeit der Lichtstrahlen bei der Doppelbrechung entstehenden.

Mittelst Fresnel'scher Spiegel beobachteten sie noch Interferenzen, wenn der Gangunterschied für die blauen Strahlen im Spectrum bei der Linie F, 1737 Wellenlängen betrug. Durch Reflexion an den beiden Oberflächen einer dünnen Glasplatte wurde die Interferenz noch nachgewiesen, als der Gangunterschied die Zahl 3406 Wellenlängen erreichte. Mit Krystallblättchen wurde das Phänomen bis zu merkwürdigen Dicken verfolgt, so gab z. B. eine der Axe parallele Bergkrystallplatte von 54mm,6 Dicke, so wie eine eben so geschnittene Platte von isländischem Kalkspathe von 4mm,79 Dicke sehr hübsche Interferenzphänomene, obwohl der Gangunterschied bei der ersten 1082 und bei der anderen 1692 Wellenlängen betrug.

Da es sich in diesem Artikel nur um Feststellung des Interferenzphänomens an sich handelt, so brechen wir hier ab. Secundäre Interferenzen kommen zur Sprache in dem Artikel: Inflexion, Farbenringe Newton's, Polarisation. Namentlich verdient die Inflexion die größte Beachtung, weil durch dieselbe zum Theil die Interferenz nachgewiesen worden ist, wo andere directe Wege vergeblich eingeschlagen wurden; der Abschnitt dieses Artikels: C. Inflexion der Wärme ist geradezu als eine Ergänzung des vorliegenden zu betrachten.

In Betreff der elektrischen Ströme ist zu bemerken, daß bis jetzt eine eigentliche Interferenz bei ihnen noch nicht wahrgenommen ist. Zwar wollte de la Rive **) eine solche entdeckt haben; indessen hat Lenz ***) den Beweis geliefert, daß das Ohm'sche Gesetz zu der fraglichen Erscheinung den genügenden Aufschluß bietet. H. E.

Interferenzfarben, s. Farbenringe und Inflexion.

Intervalle, musikalische, s. Ton.

Inversor (v. d. lat. invertere, umkehren) oder Commutator (v. d. lat. commutare, verändern) oder Gyrotrop (v. d. griech. γῦρος, Kreis und τρέπω ich wende) ist ein Hülfsapparat bei elektrischen, namentlich elektromagnetischen Ver-

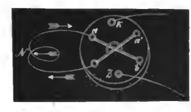
*) Vergl. Art. Farbe. Bd. III. S. 24.

**) Pogg. Ann. XLV. S. 434. Mém. de la Soc. de phys. et d'hist. nat. de Génève. T. VIII.

***) Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 416; Bullet. de la Soc. de Petersb. T. V.

suchen, mittelst dessen auf bequeme und dem Zwecke entsprechende Weise eine Umkehrung des durch einen Leiter fließenden elektrischen Stromes bewirkt wird, so daß der positive Strom, welcher den Leiter in einer bestimmten Richtung durchlief, sofort in die entgegengesetzte Richtung gebracht werden kann.

Ein sehr einfacher und bei den verschiedenartigsten Versuchen anwendbarer Stromumwender ist das Pohl'sche Gyrotrop *). In seiner einfachsten Gestalt besteht dasselbe nur aus zwei Stücken. Das eine ist eine runde Scheibe aus festem Holze, etwa von 4 Zoll im Durchmesser und 1 Zoll dick. In gleichen Abständen von einander sind an ihrem Umfange sechs, etwa $^3/_4$ Zoll breite und tiefe cylindrische Löcher, a, b, a', b', k und z, gebohrt, die mit kleinen Kupfernäpfchen ausgefüttert sein können, wiewohl dies auch nicht gerade nöthig ist, und von welchen zwei Paar, diametral gegenüberliegende, a und b', b und a', wie es die Zeichnung darthut, durch an die Näpfchen gelöthete, oder in die Löcher hineinreichende, starke Kupferdrähte mit einander verbunden sind, wobei der eine von ihnen in der Mitte eine solche Biegung erhalten muß, daß dadurch eine Berührung beim Durchkreuzen beseitigt wird, also gar keine leitende Verbindung zwischen den Drähten stattfindet.



In die sechs Näpfchen wird Quecksilber geschüttet. Die unverbundenen k und z werden mit dem positiven und negativen Pole des elektrischen Erregers (z. B. der Kette) in Verbindung gesetzt, und von den vier übrigen Näpfchen werden zwei neben einander liegende, z. B. a und b, mit den Enden des zu dem Apparate, in welchem eine Umkehrung des Stromes beabsichtigt wird, führenden Leitungsdrahtes durch Eintauchung verbunden.

Gesetzt nun, man füllte die jetzt noch bestehende kleine Lücke zwischen k und a durch einen kleinen, an den Enden umgebogenen, und in die Vertiefungen bei k und a eintauchenden Draht aus, und eben so die Lücke zwischen z und b; so durchläuft, wenn der Draht z die positive Elektricität herbeiführt, der Strom den Weg zbNak, geht mithin im Drahte N nach der durch den oben und unten stehenden Pfeil bezeichneten Richtung. Wenn man dagegen die Lücke zwischen k und a' und zwischen z und b' auf die eben angegebene Weise ausfüllte, so wird, wie leicht zu erachten, der Strom in diesem Drahte gerade die entgegengesetzte Richtung erhalten. Begreiflich kann an die Stelle des Drahtes N ein beliebiges System gebracht werden, auf welches der Strom einwirken soll.

Um jedoch den angegebenen Wechsel noch bequemer und ungleich schneller zu bewerkstelligen, als es durch das vereinzelte Ausheben und wieder Einlegen der beiden kleinen Drähte von der einen auf die andere Seite möglich ist, bedient man sich dazu eines einzigen Gliedes, welches das zweite Stück der ganzen Vorrichtung ausmacht, in umstehender Figur abgebildet ist und die Wippe heißen möge. Es besteht diese Wippe aus einem kupfernen Drahtbügel klmz, auf welchem in der Gegend der Biegung, bei l und m, die bogenförmigen Kupferdrahtstücke ala',

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 185.

b m b', aufgelöthet sind. Die Dimensionen sind dabei so genommen, daß die Enden k und z in die gleichnamigen Näpfe der vorhergehenden Figur neben den Polardrähten des elektrischen Apparates gleichzeitig eingetaucht



werden können, und daß, wenn die Schenkel k t und m z senkrecht stehen, die Enden der Bogen, sowohl a' u. b', als auch a u. b, die Scheibe, insbesondere das Quecksilber in den unter ihnen befindlichen Näpfen, nicht berühren, daß hingegen, je nachdem man den Bügel auf die eine oder die andere Seite neigt, entweder die Enden a und b in die gleichnamigen Näpfe der Scheibe greifen und, mit k und z in eine Ebene fallend, dem Bügel eine feste, hinlänglich unterstützte Lage verstatten, worin er sich durch sich selbst erhält, während a' und b' schräg aufwärts frei in die Luft hinein ragen, oder umgekehrt a und b, wenn a' und b' in die entsprechenden Näpfe tauchen. Aus dem Bügel k t m z ist nun in der Mitte ein Stück herausgeschnitten, und an der Stelle desselben befindet sich ein Griff von Glas oder Holz, in welchen die Enden t und m, ohne leitende Gemeinschaft mit einander zu haben, eingekittet sind.

Es erhellt leicht von selbst, wie durch die Verbindung dieses zweiten Stückes, der Wippe, mit dem ersten und durch ein bloßes Umbiegen von der einen zur anderen Seite die plötzliche Umkehrung des Stromes bewerkstelligt werden kann. Auch läßt sich leicht einsehen, wie man da, wo die Einwirkung eines Leiters auf einen zweiten nachgewiesen werden soll, zwei solche Apparate mit einander verbinden, und nachdem der Strom durch den einen hindurchgeführt, ihn nun auf gleiche Weise auch durch den anderen hindurch leiten könne, so daß der Gang des Stromes in jedem der beiden Leiter, oder auch in beiden zugleich, so schnell und so oft man will, verändert werden kann.

Ein ähnliches Gyrotrop hat Ampère *) an dem nach ihm genannten Apparate zur Darlegung der Gesetze, nach welchen elektrische Leiter auf einander einwirken **), angebracht; da indessen das Princip mit dem des Pohl'schen Gyrotrops übereinstimmt und dies Instrument entschieden einfacher ist, so können wir die nähere Beschreibung ***) übergehen. Wo es sich um Anschaffung eines Gyrotrops handelt, dürfte jetzt nicht leicht das Ampère'sche gewählt werden. Eben so sei nur historisch die Wippe Poggendorff's erwähnt ****), die als eine Verallgemeinerung der Pohl'schen anzusehen ist.

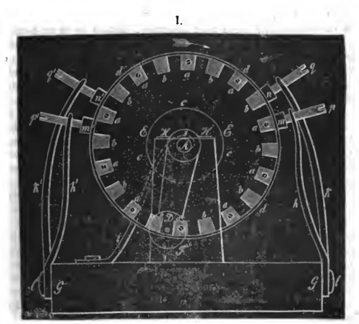
Wo es darauf ankommt, den Strom einer hydro- oder thermoelektrischen Kette oftmals in einer gegebenen Zeit mit Bequemlichkeit umzukehren, empfiehlt sich der Inversor von Poggendorff *****).

Es liegt diesem Inversor das Princip des Neef'schen Blitzrades zu Grunde, und besteht derselbe zunächst aus einer etwa 4 Linien dicken Holzscheibe c, c, c, in welche Kupferstücke a und b, zwanzig an der Zahl, vom Rande her eingelassen sind. An diese legen sich, von beiden Seiten, die etwas größeren, aber nur etwa 0,5 Linie dicken Holzscheiben d, und an diese wiederum die beiden Kupfer-

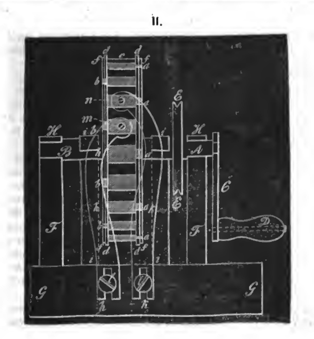
*) Ann. de Ch. et de Phys. T. XXVI. p. 390.
**) Vergl. Art. Elektromagnetismus. Bd. II. S. 802.
***) Gehler's phys. Wörterb. N. B. III. S. 555.
****) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 586.
*****) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 385.



I.



II.



scheiben f, f, deren Durchmesser dem der dicken Holzscheibe gleich sind. Die kupferne Axe A B des Instrumentes hängt nicht zusammen, sondern es ist die Hälfte A an die eine und die Hälfte B an die andere dieser Kupferscheiben f, f fest angelöthet. Eben so sind die Kupferstücke a und b durch Schrauben abwechselnd mit der einen und der anderen Kupferscheibe verbunden, und zwar so, daß die Stücke a auf diese Weise mit der Axenhälfte A, und die Stücke b mit der Axenhälfte B in leitender Verbindung stehen. Die Axe A B ruht auf den vom Brete G G getragenen Ständern F, F in Pfannen, die durch die aufgeschrobenen Messingplatten H H bedeckt sind. Die Axe wird durch die Kurbel C D in Bewegung gesetzt, und um ihr auch eine sehr bedeutende Rotationsgeschwindigkeit geben zu können, ist sie noch mit der Rolle E E versehen, welche man durch eine Schnur mit einer Centrifugalmaschine oder ähnlichen Vorrichtung zu verbinden hat. Ein Räderwerk würde natürlich demselben Zwecke entsprechen.

Gegen den Rand der Scheibe drücken die Kupferstäbchen n m mittelst der Kupferfedern h k, in welchen sie mit ihren oberen Theilen p q eingeschroben sind. Durch mehr oder weniger tiefes Einschrauben in die Federn kann man den Druck der Stäbchen gegen die Scheibe beliebig vergrößern oder verkleinern. Die Federn sind durch Schrauben l, l am Brete befestigt, und können, mittelst Ausschnitte an ihren unteren Enden, die man in vorstehender Fig. II. sieht, so gestellt werden, daß, wie aus Fig. I. am besten zu ersehen, die Stäbchen n m genau den Abstand zweier der Stücke a, b von einander haben. Die Federn h', k' mit den Stäbchen m' p', n' q' haben ganz dieselbe Einrichtung, und sind eigentlich nur eine Zugabe zum Instrumente.

Will man mit dem Inversor den Strom einer Volta'schen Kette in abwechselnd entgegengesetzter Richtung, z. B. auf die Nadel eines Multiplicators wirken lassen, so verbindet man durch Drähte die Federn i, i respective mit den Polen der Kette, und die Federn h, k respective mit den Enden des Multiplicatordrahtes. Klar ist, daß dann bei Drehung der Scheibe die Verbindung dieser Drahtenden mit den Polen oder die Richtung des Stromes umgekehrt werden muß, so wie ein b, das unter n war, mit m in Berührung kommt, während zugleich ein a an n heranrückt. Es werden also bei jedem ganzen Umlauf der Scheibe 20 Umkehrungen des Stromes erfolgen, und da man die Scheibe schon mit der bloßen Kurbel sehr bequem zwei und selbst drei Mal in einer Secunde umdrehen kann, so wird man in derselben Zeit 40 bis 60 Umkehrungen erhalten.

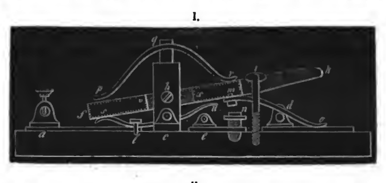
Während die Stäbchen m und n ganz auf Holz ruhen, ist natürlich der Strom unterbrochen. Es hängt indessen von der Dicke der Stäbchen ab, wie lange die Unterbrechung dauern soll. Haben die Stäbchen genau die Dicke oder Breite der eingelassenen Kupferstücke und deren Zwischenräume, so ist die Unterbrechung nur momentan; sind sie schmäler, werden die Unterbrechungen größer. Es ist daher gut, den Enden n, m der Stäbchen keinen quadratischen oder cylindrischen Querschnitt zu geben, sondern die Form einer stumpfen Schneide, damit man durch bloßes Drehen der Stäbchen die Unterbrechungen nach Belieben verlängern oder verkürzen kann. Versieht man beide Stäbchenpaare n m, n' m' mit solchen stumpfen Schneiden, dreht diese senkrecht gegen die Ebene der Scheibe, und stellt das eine Paar so, daß es Holz berührt, während das andere auf Metall ruht, so hat man zwei Reihen von Umkehrungen, die man erforderlichenfalls durch zwei Multiplicatoren, oder durch einen Multiplicator und eine Flüssigkeit senden kann. — An

dem Inversor, welchen Poggendorff hat anfertigen lassen, hat die Scheibe drittehalb Zoll Durchmesser, und mit Hülfe eines Räderwerks will er 200 bis 300 Umkehrungen in einer Secunde bewerkstelligen können.

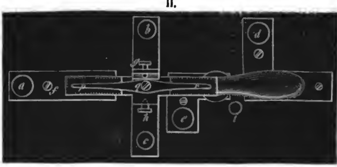
Zu physikalischen Zwecken, besonders aber zur Anwendung in der elektromagnetischen Telegraphie hat E. Knorr in Kiew folgenden Tastengyrotrop angegeben *).

Fig. I. stellt den Apparat von der Seite, Fig. II. von oben dar; a, b, c, d, e sind messingene Ständer, in welche die Leitungsdrähte eingeschraubt werden können; fk ist eine Taste von Holz, welche bei fv und xm Schuhe von Kupfer hat. Die Schrauben g und h (Fig. II.) bilden die Axen der Taste fk; der Messingständer,

I.



II.



durch welchen die Schraube g geht, ist stets mit b, dagegen der, durch welchen h geht, ist stets mit c in leitender Verbindung; beide Ständer müssen aber von einander isolirt sein, und sind deshalb oben durch ein zwischengelegtes Stück Holz von einander getrennt. Der Schuh fv (Fig. I.) hat auf der hinteren Seite eine metallische Verlängerung bis zur Schraube g, so daß der Schuh fv durch die Schraube g stets mit b in leitender Verbindung ist. Eben so ist der Schuh xm durch die Gegendruckfeder mo und durch die rechtwinkelige Messingplatte, gegen die sich die Feder mo bei o stützt, stets mit d in leitender Verbindung. Ferner

*) Pogg. Ann. Bd. XC. S. 177.

ist die kupferne Feder s l u stets mit a und die kupferne Feder p q r stets mit c in leitender Verbindung. Die Schraube n dient zunächst, um die Größe des Ausschlags der Taste zu reguliren; n ist mit e in leitender Verbindung und wenn die Taste niedergedrückt wird, so kann auch der kupferne Schuh x m durch n mit e in leitende Verbindung kommen; i ist ein Wirbel mit Holzschraube, dessen Kopf parallel mit der Taste steht; wird derselbe um 90° gedreht, so wird die Taste niedergedrückt und in dieser neuen Lage erhalten. Die Taste bewegt sich übrigens so leicht, daß ein schwaches Anschlagen mit einem Finger genügt, um sie niederzudrücken. Ruht die Taste in der Lage, wie sie Fig. I. zeigt, so berührt die Feder s l u den Schuh f v bei s, sie hat aber keine Verbindung mit x m; dagegen berührt die Feder p q r den Schuh x m bei r und hat keine Verbindung mit f v. Wird die Taste niedergedrückt, so kommt s l u außer Verbindung mit f v, tritt aber in Verbindung mit x m; dagegen tritt p q r außer Verbindung mit x m und kommt in Verbindung mit f v. An den Federn und Schuhen sind an den Stellen, wo sie mit einander in Berührung kommen können, dünne Platinplättchen aufgelöthet. Setzen wir nun, daß z. B. ein einfaches galvanisches Kupfer-Zink-Element dergestalt mit dem Apparate verbunden wird, daß vom Zink der kupferne Leitungsdraht nach c, vom Kupfer aber der Leitungsdraht nach a gehe, und es sei in b eine Leitung angebracht, durch welche der Strom nach d zurückkehren kann. Ist nun die Taste in der Lage, wie sie Figur I. zeigt, so ist der Lauf folgender: vom Zink durch die Säure zum Kupfer, von dort nach a, von a durch l und s in den Schuh f v, von dort durch die Schraube g nach b, dann durch die Leitung zurück nach d, von hier durch o und m in den Schuh x m, aus diesem bei r in die obere Feder und durch c zurück zum Zink. Wird dagegen die Taste niedergedrückt, so geht der Strom von a durch l nach u, von dort durch x, m, o nach d, hierauf durch die Leitung nach b, dann durch die Schraube g in den Schuh f v, und von hier durch p nach q und c. In letzterer Lage der Taste durchläuft also der Strom die Leitung zwischen b und d in entgegengesetzter Richtung.

Als Anwendung des Apparates sei nur kurz erwähnt: die Verbindung zweier unter sich getrennter, jedoch geschlossener Ketten zu einer einzigen geschlossenen Kette; die Zerlegung einer telegraphischen Hauptlinie mit 2 Batterien in 2 getrennte kurze Zirkel, was sich am einfachsten dadurch erreichen läßt, daß man die Hauptleitung durch a führt und die Endplatte der Station mit d verbindet; die Einschaltung einer Verstärkungsbatterie; das schnelle Oeffnen der einen und Schließen der anderen Kette.

Durch einfache Abänderungen wird der Apparat brauchbar zum gleichzeitigen Telegraphiren einer und derselben Depesche in zwei verschiedenen von einander getrennt bleibenden Ketten durch Unterbrechung des Stromes.

Für bestimmte Zwecke bedient man sich besonderer, an den Apparaten fest angebrachter Vorrichtungen zum Umkehren des Stromes, die man wohl vorzugsweise **Commutatoren** nennt. Eine solche Vorrichtung findet sich z. B. an dem elektromagnetischen Rotationsapparate, welcher in dem Artikel **Elektromagnetismus** Bd. II. S. 799 und 800 beschrieben ist.

Man wendet vorzugsweise, mit den dem jedesmaligen Zwecke entsprechenden Abänderungen, den zuerst von **Jacobi** ausgeführten **Commutator** an, worüber der Artikel dieses Namens (Bd. I. S. 981) zu vergleichen ist.

Auf demselben Princip beruhend erscheint die von Felix de Fauconpret *) angegebene neue Form eines Commutators, indem derselbe aus einem Rade von Glas besteht, auf welchem drei gezahnte Ringe von Kupfer befestigt sind. H. E.

Jod (Jodine). Chem. Zeichen: J; Aequivalent = 126. Das Jod, **1812** von dem Salpetersieder Courtois entdeckt, scheint nach den in neuester Zeit von einigen französischen Chemikern ausgeführten Untersuchungen, ein sehr verbreiteter Körper zu sein, der sich jedoch überall nur in kleiner Menge vorfindet und nirgends im freien Zustande. Man hat es als Jodquecksilber und Jodsilber in Mexiko, in sehr geringer Menge in schlesischen Zinkerzen gefunden, ferner als Jodammonium in dem in der brennenden Kohlengrube zu Commentry sublimirenden Salmiak, als Jodkalium oder Natrium im salpetersauren Natron von Chili, im Steinsalz von Hall in Tyrol. In einer großen Menge von Salzsoolen, welche zur Kochsalzgewinnung benutzt werden (z. B. Halle, Schönebeck, Dürrenberg, Kösen, Artern, Salzungen 2c.), in dem Meerwasser, auch in dem der Ostsee (in nur geringer Menge), in vielen Mineralwässern, selbst in Brunnenwässern (München) hat man es an Natrium oder Magnesium gebunden nachgewiesen. Die Aschen mehrerer Seegewächse enthalten diese Verbindungen in größerer Menge, namentlich der Ulven- und Fucusarten, die Aschen der Seetange und Algen; die Schalen der Seekrebse, Seeigel und Seesterne, die Meerschwämme (Badeschwamm, Pferdeschwamm 2c.) sind ebenfalls reich daran. Auch in dem Thrane von Gadus morrhua und anderer Gadusarten (Leberthran) und dem Oele aus der Leber von Raja clavata und Batis hat man Jod gefunden.

In seinen chemischen Eigenschaften, die zuerst von Davy **), vollständiger von Gay-Lussac ***) untersucht wurden, stellt sich das Jod neben Chlor und Brom. Es bildet, sublimirt, krystallinische metallglänzende Schuppen von schwarzgrauer, dem Reißblei ähnlicher Farbe, welche sehr weich und zerreiblich sind; krystallisirt aus der Luft dargebotenen Auflösungen in Jodwasserstoffsäure oder in Aether in Krystallen des rhombischen Systems, deren Grundform ein spitzes rhombisches Oktaeder ist. In sehr dünnen Blättchen läßt es das Licht mit rother Farbe durch. Sein specifisches Gewicht ist 4,897, es schmilzt bei 107° und erstarrt beim Erkalten zu einer krystallinischen Masse. Bei 175° bis 180° C. siedet es und bildet einen Dampf, der bei auffallendem Lichte vollkommen schwarz, bei durchfallendem Lichte aber intensiv violettblau erscheint ****), ein spec. Gew. von 8,701 besitzt und sich an kälteren Stellen in krystallinischen Schuppen verdichtet. Sein Geruch erinnert an Chlor, der Geschmack ist scharf und anhaltend; es färbt die Haut braun und zerstört sie, Pflanzenfarben zerstört es nur schwach,

*) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XXXVI. p. 155; Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 590.

**) Gilb. Ann. Bd. XLVIII. S. 32; Bd. XLVIII. S. 19. Schweigg. Journ. Bd. XI. S. 68; Bd. XI. S. 234; Bd. XVI. S. 343. Ann. de Chim. T. XCVI. p. 289.

***) Ann. de Chim. T. LXXXVIII. p. 311, 319; T. XCI. p. 5. Gilb. Ann. Bd. XLVIII. S. 24 u. 372; Bd. XLIX. S. 1 u. 211. Schweigg. Journ. Bd. XIII. S. 384; Bd. XIV. S. 35.

****) Von der veilchenblauen Farbe der Dämpfe erhielt das Jod seinen Namen (ἰοειδής, veilchenfarben).

und giebt mit Stärkekleister eine schöne blaue Verbindung. Das Jod verdampft trocken nur wenig an der Luft, feucht dagegen viel leichter.

Das Jod löst sich nach Gay-Lussac in dem 7000fachen seines Gewichts Wasser, nach Jacquelain in 500 Th. Wasser von 20°, mit bräunlichgelber Farbe; in salzhaltigem Wasser, namentlich bei Gegenwart von Salmiak, salpetersaurem Ammoniak und leicht löslichen Haloidsalzen löst es sich viel leichter; Jodwasserstoffsäure, Alkohol, Aether und Terpentinöl lösen es mit intensiv braunrother Farbe.

Man gewinnt das Jod aus der Asche der Fucus- und Ulvenarten, insbesondere von der Rhodomenia palmata. Diese werden mit heißem Wasser ausgelaugt; die Auflösung wird durch wiederholtes Abdampfen und Abkühlen von den darin enthaltenen krystallisirbaren Salzen (Chlorkalium, Chlornatrium, kohlensaurem und schwefelsaurem Natron rc.) möglichst befreit und die Mutterlauge, welche außer Jodnatrium, noch Schwefelnatrium, unterschwefligsaures Natron und einen Theil der erst genannten Salze enthält, auf Jod verarbeitet. Die Methoden der Darstellung des Jods aus diesen Mutterlaugen findet man in Gmelin, Handbuch der Chemie, Bd. I. S. 690 zusammengestellt.

Die Verwandtschaft des Jods zum Sauerstoff ist sehr gering, so daß beide bei keiner Temperatur auf einander einwirken; unter gewissen Umständen vermag Jod jedoch den gebundenen Sauerstoff aufzunehmen und es bildet sich dann die Jodsäure, JO_5, aus deren Salzen die zweite bekannte Verbindung mit Sauerstoff, die Ueberjodsäure, JO_7, dargestellt werden kann. — Man erhält Jodsäure, wenn man Jod mit möglichst concentrirter Salpetersäure erwärmt. Wenn alles Jod verschwunden ist, läßt man die Flüssigkeit erkalten; der größte Theil der Säure setzt sich dann in Krystallen ab. Trägt man Jod in siedende Kalilauge ein, so bildet sich jodsaures Kali und Jodkalium, welches letztere beim Erkalten gelöst bleibt, während sich ersteres ausscheidet. Wird das erhaltene jodsaure Kali in siedendem Wasser gelöst, mit Chlorbaryum versetzt, so bildet sich jodsaurer Baryt, aus welchem durch Zersetzen mittelst Schwefelsäure Jodsäure gewonnen werden kann.

Um die Säure in größerer Menge darzustellen, bedient man sich am besten des chlorsauren Kalis; man erwärmt gleiche Theile Jod und chlorsaures Kali mit 5 Theilen Wasser, dem einige Tropfen Salpetersäure zugesetzt worden sind; das Jod oxydirt sich unter reichlicher Entwickelung von Chlorgas zu Jodsäure, die an Kali gebunden bleibt, und man erhält diese durch Behandlung des Salzes mit Chlorbaryum und Zersetzung des Barytsalzes mittelst Schwefelsäure. Die Jodsäure krystallisirt in 6seitigen Tafeln; und die Krystalle enthalten 1 Aequiv. Wasser, ($JO_5 + HO$). Beim Erhitzen verlieren diese anfangs etwas Wasser, zersetzen sich aber bald (bei 200°) in reines Sauerstoffgas und Joddampf. Die Säure ist in Wasser leicht löslich, weniger in Alkohol. Die jodsauren Salze, welche entstehen, wenn man Jodsäure mit einer Salzbasis vermischt oder die wässerige Säure mit Metallen zusammenbringt, die sich auf Kosten theils des Wassers, theils der Säure oxydiren, oder wenn man jodsaure Alkalien mit leicht löslichen Metallsalzen vermischt, sind krystallinisch und meist schwer löslich in Wasser. Einige verpuffen mit brennbaren Körpern beim Erhitzen, z. B. auf glühender Kohle, zum Theil auch beim Schlagen, doch viel schwächer als die chlorsauren und salpetersauren Salze. Ihre wässerigen Lösungen zersetzen sich durch schweflige Säure in Jod

und Schwefelsäure, mit Schwefelwasserstoff in schwefelsaures Salz, Wasser und Schwefel; arsenige Säure und Zinnchlorür scheiden in der Wärme Jod daraus ab; Salzsäure zerlegt die Salze in Wasser, Chlormetall, dreifach Chlorjod und freies Chlor. In der Wärme verlieren die Alkalisalze (beim Abschluß der Luft) allen Sauerstoff und hinterlassen Jodmetall; die Salze der alkalischen Erden dagegen verlieren einen Theil Jod und Sauerstoff und hinterlassen basisch überjodsaures Salz. — Die Ueberjodsäure JO_7 erhält man aus überjodsaurem Natron, indem man dieses in Salpetersäure löst, die Lösung mit salpetersaurem Silberoxyd vermischt und das gefällte, durch Auflösen in siedender Salpetersäure umkrystallisirte Silbersalz mit Wasser behandelt; das überjodsaure Silberoxyd giebt dabei die Hälfte der Säure an Wasser ab, aus dem man sie durch Verdunsten in Krystallen erhält. Das überjodsaure Natron entsteht beim Einleiten von Chlorgas in eine siedende Auflösung von jodsaurem Kali, die man mit kohlensaurem Natron versetzt hat; beim Erkalten scheidet sich das überjodsaure Natron in seidenglänzenden Büscheln ab. Die Ueberjodsäure bildet farblose, an der Luft zerfließliche Krystalle, welche schiefe rhombische Säulen zu sein scheinen, bei 130° C. ohne Zersetzung schmelzen, stärker erhitzt ihr Wasser abgeben und dann sich in Sauerstoffgas und Jodsäure zersetzen; diese letztere zerfällt weiter in Sauerstoff und Jod. Sie löst sich leicht in Wasser, schwieriger in Weingeist und Aether, und bildet mit Basen einfach und halb-saure Salze, die in Wasser meist schwer löslich sind. — Andere Sauerstoffverbindungen des Jods sind die von Millon entdeckte Unterjodsäure JO_4 und die noch zweifelhafte jodige Säure JO_3.

Das Jod verbindet sich mit Wasserstoff zu Jodwasserstoffsäure, Hydrojod, Hydrojodsäure = HJ, eine bei gewöhnlicher Temperatur gasförmige Verbindung. Man bereitet sie, indem man 9 Th. Jod (= 3 Aequiv.) und 1 Th. Phosphor (= 1 Aequiv.), abwechselnd mit grob zerstoßenem mit etwas Wasser angefeuchtetem Glas geschichtet, in einer unten zugeschmolzenen Glasröhre langsam erwärmt und das sich entwickelnde Gas in kleinen trockenen Flaschen auffängt; man erhält die Säure auch durch gelindes Erwärmen von 4 Th. krystallisirtem unterphosphorigsaurem Kalk und 1 Th. Wasser mit 4 Th. Jod oder besser von 6 Th. krystallisirtem schwefligsaurem Natron und 1 Th. Wasser mit 3 Th. Jod ($NaO, SO_2 + HO + J = NaO, SO_3 + HJ$). Das Gas ist farblos, riecht stechend, schmeckt stark sauer, zersetzt sich durch Einwirkung von Luft und Licht bei Anwendung von Wärme, raucht an der Luft und ist in Wasser sehr löslich; es besitzt 4,443 specif. Gewicht, und gefriert bei — 51° C. zu einer eisähnlichen Masse; bei 0° übt die flüssige Säure einen Druck aus von 3,97 Atmosphären. Durch Brom und Chlor wird sie zersetzt; Salpetersäure, Schwefelsäure, Chlorsäure und Eisenoxydsalze oxydiren den Wasserstoff; die meisten Metalle verbinden sich unter Entbindung des Wasserstoffs mit dem Jod und die Metalloxyde verwandeln sich damit unter Wasserbildung in Jodmetalle. — Der Jodstickstoff ist wie der Chlorstickstoff eine Verbindung, die äußerst leicht mit größter Heftigkeit explodirt. Sie bildet sich beim Uebergießen feinzertheilten Jods mit Ammoniak in kurzer Zeit, oder wenn man Jod in Königswasser gelöst, wobei 3fach Chlorjod gebildet wird, mit überschüssigem Ammoniak fällt (Mitscherlich). Der Jodstickstoff bildet ein zartes braunschwarzes Pulver, explodirt selbst im feuchten Zustande leicht durch Reiben, trocken aber bei der geringsten Veranlassung, oft von selbst; beim Ver-

puffen entwickelt sich Stickgas, Joddampf und im Dunkeln sieht man ein violettes Licht. Die Zusammensetzung der Verbindung, welche man gewöhnlich J_3N oder auch JNH_2 annahm, ist nach Bunsen *) je nach der Darstellung verschieden. Beim Vermischen einer kalt gesättigten Lösung von Jod und Ammoniak bildet sich die Verbindung $NJ_3 + NH_3$. Nach der Mitscherlich'schen Methode dargestellt erhält man den Jodstickstoff $4\,NJ_3 + NH_3$ **).

Mit Chlor verbindet sich das Jod zu Jodchlorid JCl_3 und Jodchlorür JCl. Erstere Verbindung bildet sich, wenn man 5 bis 6 Stunden lang Chlor über von Zeit zu Zeit erhitztes Jod leitet, als gelbe Flüssigkeit, welche beim Abkühlen in langen Nadeln krystallisirt. Jodchlorür entsteht, wenn überschüssiges Jod mit Chlor behandelt wird, oder wenn man 4 Th. chlorsaures Kali mit 1 Th. Jod destillirt, wobei es als gelbe oder röthliche, ölige Flüssigkeit übergeht. Durch Einleiten von Chlor in heißen Joddampf erhält man nach Trapp ein Jodchlorür von derselben Zusammensetzung, also JCl, in zollangen Prismen und Tafeln, die sehr glänzend und durchsichtig sind und einen höchst unangenehmen, reizenden Geruch besitzen. Schwefel giebt mit Jod mehrere, nach ihrer Zusammensetzung nicht bekannte Verbindungen; beide Körper vereinigen sich unter Erwärmung; bei weiterem Erhitzen jedoch zersetzt sich die Verbindung wieder. — Phosphor und Jod verbinden sich zu Jodphosphor, zweifach Jodphosphor PJ_2 und dreifach Jodphosphor PJ_3; letztere Verbindungen entstehen, wenn die ihnen entsprechenden Aequivalente Jod und Phosphor in Schwefelkohlenstoff gelöst und die Lösung bei Luftabschluß und unter Erkältung verdunstet wird.

PJ_2 bildet lange biegsame abgeplattete Säulen von hell pomeranzenrother Farbe, bei 110 schmelzend; J_3P krystallisirt in großen säulenförmigen Krystallen von rother Farbe, bei 55° schmelzend. — Das Jod verbindet sich mit fast allen Metallen, welche ihrer Zusammensetzung nach meist den Oxydationsstufen und fast immer den Chlorstufen entsprechen. Die dem Oxydul oder Chlorür entsprechenden Jodmetalle werden Jodüre, die den Oxyden oder Chloriden entsprechenden Jodide genannt. Die Vereinigung mit den Metallen erfolgt auf mannichfaltige Weise; durch directes Zusammenbringen oft schon bei gewöhnlicher Temperatur (z. B. Quecksilber) und unter mit Feuererscheinung begleiteter Wärmeentwickelung (Kalium); durch Jodwasserstoffsäure und Metalle oder Metalloxyde; durch Glühen von jodsauren und überjodsauren Metalloxyden ꝛc. Die unlöslichen Jodmetalle stellt man meistens dar durch Fällung löslicher Metallsalze mit Jodkaliumlösung. Die Jodmetalle sind sämmtlich von nicht metallischem Ansehen, zum Theil sehr schön gefärbt, in Wasser meist löslich, einige werden durch Wasser zersetzt (Wismuth, Kupfer ꝛc.). Die meisten bleiben beim Erhitzen unter Luftabschluß unverändert (außer Gold, Platin und Palladium); bei Luftzutritt indeß verlieren viele ihr Jod und verwandeln sich in Oxyde. — Mit organischen Radikalen geht das Jod bestimmte Verbindungen ein, so mit Methyl, Aethyl, Amyl ꝛc.; desgleichen mit einer großen Zahl anderer organischer Körper. Im freien Zustande

*) Ann. der Chem. und Pharm. Bd. LXXXIV. S. 1. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 248.

**) Gladstone (Pharmac. Centralbl. 1854, Nr. 36), welcher die Angaben Bunsen's prüfte, konnte die Körper von dieser Zusammensetzung nicht erhalten; er fand die Formel NHJ_2.

ist das Jod an seinen Eigenschaften leicht zu erkennen. Als empfindlichstes Reagens auf Jod gilt unstreitig Stärkekleister, welcher von freiem Jod, wie schon früher erwähnt wurde, blau gefärbt wird; außerordentlich geringe Mengen färben die Stärke violett oder auch nur rosenroth; enthält eine Auflösung $^1/_{100000}$ Jod, so ist es auf diese Weise noch deutlich nachzuweisen. Die Färbung verschwindet durch Erhitzen bis nahe zum Kochen und durch Alkalien, beim Erkalten und durch Zusatz von Säure wird sie wieder hergestellt. Ist das Jod an Basen gebunden in einer Flüssigkeit enthalten, so hat man es durch Salpetersäure oder verdünntes Chlorwasser (welches letztere wegen Bildung von Chlorjod, das die Stärke nicht färbt, nicht im Ueberschuß vorhanden sein darf) in freien Zustand zu versetzen. Salpetersaures Palladiumoxydul ist ein sehr empfindliches Reagens auf Jod, es bildet sich unlösliches schwarzes Palladiumjodür, das nur in viel überschüssigem Jodmetall auflöslich ist; bei sehr geringen Mengen Jod färbt sich die Flüssigkeit durch Palladium bräunlich. — Die Säure in jodsauren Salzen reducirt man durch Schwefelwasserstoff und weist das Jod dann durch Stärkemehl nach. In einem Gemenge dieser Salze mit Jodmetallen wird durch Zusatz von chlorfreier Salzsäure hinzugefügte Stärkelösung gebläut, indem die Jodsäure die gebildete Jodwasserstoffsäure reducirt. — In Verbindungen, welche kein Chlor und Brom enthalten, kann man das Jod quantitativ als Jodsilber bestimmen. Bei Gegenwart dieser Elemente aber wendet man am besten Palladiumoxydulsalz an, und bestimmt das Jod als Palladiumjodür.

Die Anwendung des Jods in der Photographie ist bekannt. Als Heilmittel, entweder frei oder als Jodkalium, ist es sehr geschätzt gegen alle Drüsenanschwellungen, auch gegen Geschwülste und es ist das einzige Heilmittel gegen den Kropf, wogegen Coindet in Genf es zuerst anwandte. Im festen Zustande verschluckt erzeugt es Geschwüre im Magen und wirkt tödtlich. — Chatin, Marchand (Apotheker in Fécamp), Niepce, Meyrac haben es durch zahlreiche Untersuchung von Wässern, Pflanzen, Nahrungsmitteln aller Art, Thieren &c. wahrscheinlich zu machen gesucht, daß die Anwesenheit des Kropfes und Cretinismus in gewissen Gegenden in engster Beziehung stehe zu einem Mangel an Jod in den Nahrungsmitteln &c. dieser Regionen und im Gegentheil die Abwesenheit dieser Uebel von dem Vorhandensein des Jods. Wir verweisen jedoch hinsichtlich der einzelnen Resultate auf die betreffenden Abhandlungen dieser Chemiker Compt. rend. T. XXXV. p. 505; Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 460; Bd. LXI. S. 361; Bd. LV. S. 463. H. Rt.

Iridium. — Chem. Zeichen = Ir. Aequivalent = 98, 56. Dieser, zu den Metallen gezählte Körper, wurde 1804 von Tennant *) in dem in Königswasser unlöslichen Rückstande der Platinerze entdeckt und von Berzelius **) genauer untersucht. — Das Iridium findet sich in geringer Menge im Platinerz mit Platin und anderen Metallen legirt, als Osmiumiridium in einzelnen Körnern dem Erze beigemengt, als sogenanntes gediegen Iridium (Platiniridium) endlich im oxydirten Zustande mit den Oxyden von Osmium, Eisen und Chrom, im Irit. Am reichsten an Iridium ist das Platinerz von Nischne-Tagilsk am Ural, welches

*) Phil. Transact. 1804. p. 411.

**) Pogg. Ann. Bd. XIII. S. 463; Bd. XV. S. 208 u. 527.

nach Berzelius 3 bis 5 Proc. seines Gewichts enthält. — Die Methoden der Darstellung des Metalls sind verschieden, je nach dem Material, das dazu verwendet wird. Nach Wöhler wird der schwarze in Königswasser unlösliche Rückstand der Platinerze mit getrocknetem Kochsalz gemengt in einer weiten Glasröhre bis zum schwachen Glühen erhitzt, während man Chlorgas hindurchleitet. Das Iridium verwandelt sich hierbei in Iridiumchloridnatrium, welches als nicht flüchtig mit den anderen nicht flüchtigen Körpern und etwas Osmiumchloridnatrium gemengt in der Röhre nach Beendigung der Operation zurückbleibt; man behandelt den Rückstand mit Wasser, wodurch Iridiumchloridnatrium vollständig gelöst wird, nebst einem Theil der letzteren Verbindung, und dampft die Lösung unter Zusatz von kohlensaurem Natron ein. Der hierbei sich abscheidende schwarzbraune Niederschlag ist Iridiumsesquioxyd. Zuletzt fügt man kohlensaures Natron im Ueberschuß zu, dampft vollständig zur Trockne, glüht den Rückstand im hessischen Tiegel und behandelt ihn zur Befreiung von Chlornatrium, kohlensaurem und chromsaurem Natron mit Wasser, reducirt das ungelöste, mit chemisch gebundenem Natron, etwas Eisen, Platin und Osmium verunreinigte Iridiumsesquioxyd, im Wasserstoffstrome, und behandelt das Metall schließlich zur Befreiung von den beigemengten Metallen nach einander mit Wasser, Salzsäure und Königswasser. — Dasselbe Verfahren kann man auch bei fast reinem Osmium-Iridium benutzen. — Das dargestellte Metall enthält meist noch kleine Antheile von Osmium, von denen es durch Glühen und Chlorströme vollständig getrennt werden kann; Osmium verflüchtigt sich als Chlorür, während Iridiumchlorür zurückbleibt, das durch Wasserstoff reducirt wird.

Das Iridium bildet ein dem Platin, das man nach dem Glühen des Platinsalmiaks erhält, ähnliches graues Pulver; es ist außerordentlich schwer schmelzbar und sintert in der Hitze, bei welcher Platin flüssig wird, nur zusammen, indem es silberweiß und glänzend wird; nur vor dem Knallgasgebläse kann man es zu kleinen Kugeln schmelzen, oder nach Children durch den Funken einer starken elektrischen Batterie. Es ist nicht dehnbar, zerspringt leicht unter dem Hammer und zeigt auf der Bruchfläche ein krystallinisches Gefüge. Im Schmelzen absorbirt es gleich dem Silber Gasarten, die es beim Erkalten wieder abgiebt, so daß die Kugel porös erscheint. Das specif. Gew. des zusammengepreßten Iridiums ist 15,7. — Das Iridium krystallisirt nach G. Rose's Ableitungen aus der Form seiner Verbindungen tesseral (hexaëdrisch); ist wahrscheinlich dimorph (Osmium-Iridium krystallisirt rhomboëdrisch) und isomorph mit Platin und Osmium in deren Chlorverbindungen. — Es wird von keiner Säure angegriffen, und kann nur mit Chlor oder Sauerstoff wieder verbunden werden, entweder wenn über ein erhitztes Gemenge von Iridium und Kochsalz Chlor geleitet, oder Iridium mit Salpeter geschmolzen wird. Durch Wasserstoff bei gelinder Hitze reducirtes Metall oxydirt sich in kleiner Menge zu Sesquioxydul, mit Platin legirt löst es sich in Königswasser. — Iridiummohr, Iridium in höchst fein zertheiltem Zustande, ein schwarzes, dem Lampenruß ähnliches Pulver, entsteht, wenn man Iridiumsesquioxydul mit Ameisensäure digerirt, so lange sich Kohlensäure entwickelt.

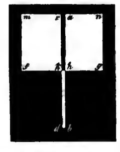
Iridium verbindet sich mit Chlor und Sauerstoff in 3 Verhältnissen; bei derselben Menge Metall verhalten sich diese Substanzen in den verschiedenen Verbindungsstufen wie $1^1/_2 : 2 : 3$. Die Verbindungen nach dem Verhältniß $1^1/_2$ und 3 nennt man Sesquioxydul und Sesquioxyd, Sesquichlorür und Sesqui-

chlorid. — Das Iridiumsesquioxydul $Jr_2 O_3$ bildet ein zartes, blauschwarzes Pulver, das sich beim Schmelzpunkte des Silbers in Metall und Sauerstoff zersetzt, und durch Wasserstoff schon in der Kälte unter Wärmeentwickelung (sogar unter Erglühen) reducirt wird. In Säuren ist es unlöslich. — Iridiumoxyd, $Jr O_2 + 2 HO$, wird nach Claus immer als indigblauer Niederschlag erhalten, wenn eine Chlorverbindung des Iridiums mit einem Alkali gekocht wird. Dasselbe löst sich unter langsamer Umwandlung in Zweifach-Chloriridium. Iridiumsesquioxyd, $Jr O_3$, oder Iridiumsäure ist nur in Verbindung mit Salzsäure oder mit Kali bekannt. — Iridiumsesquichlorür bildet mit Chlorkalium eine Doppelsalzverbindung in olivengrünen glänzenden Krystallen von der Formel $3 K Cl + Jr_2 Cl_3 + 6 HO$; das Kaliumiridiumchlorid $K Cl + Jr Cl_2$ krystallisirt in Octaedern; eine Verbindung von ähnlicher Zusammensetzung bildet Iridiumchlorid mit Salmiak. — Verbindungen des Iridiums mit anderen Elementen sind wenig bekannt. Mit Schwefel verbindet es sich in eben den Verhältnissen, wie Chlor und Sauerstoff.

Das Iridium wendet man in der Porzellanmalerei an; es giebt die schönste schwarze Farbe und läßt sich leicht mit anderen Farben mengen. H. Rt.

Irradiation (lat. irradiatio; franz. irradiation; engl. irradiation) ist ein optisches Phänomen, welches darin besteht, daß ein leuchtender Gegenstand, welcher von einem dunklen Raume umgeben ist, mehr oder weniger vergrößert erscheint.

Es läßt sich dies Phänomen sehr leicht zur Darstellung bringen. Auf einem rechteckigen Stücke weißer Pappe von 8 bis 9 Zoll Höhe und etwa 6 Zoll Breite (s. beistehende Figur) ziehe man zwei Parallellinien a b, c d etwa 2 bis 3 Linien aus einander und schneide sie in der Mitte ihrer Länge unter rechtem Winkel durch eine dritte Gerade f g, lasse dann den Streifen k h b d, so wie die beiden großen Rechtecke m c k f und a n g h weiß, während man den Streifen a h k c und das Uebrige der Pappe recht dunkel schwarz anstreicht. Man hat somit zwei Streifen von gleicher Breite, den einen weiß auf schwarzem Grunde, und den anderen schwarz auf weißem Grunde. Stellt man nun diesen Apparat neben einem Fenster senkrecht auf, so daß er wohlbeleuchtet ist, und entfernt sich 12 bis 15 Fuß weit; so wird der weiße Streifen beträchtlich breiter erscheinen, als der schwarze Streifen darüber.



— Das Phänomen wird noch auffälliger, wenn man die in dem eben beschriebenen Apparate weiß gelassenen Felder, also k h b d, m c k f und a n g h, ausschneidet, darauf den Apparat an einer der oberen Scheiben eines Fensters befestigt, und nun durch ihn nach dem Himmel sieht. Hierdurch erhalten die hellen Töne weit mehr Glanz und die dunklen eine weit größere Schwärze, was dann die Intensität des Phänomens erhöht. Wir bemerken nur noch, daß die Pappe recht dünn und die schwarze Farbe möglichst undurchsichtig sein muß.

Stellt man den eben angegebenen Versuch an, so gewinnt man zugleich den Thatbestand für die entgegengesetzte Täuschung, nämlich daß, wie sich schon von selbst versteht, ein dunkler Gegenstand auf hellem Grunde eine Verkleinerung seiner Dimensionen erleidet. Es zeigt sich dies an dem dunklen Streifen a h k c auf dem

weißen Grunde fgnm. Da der weiße und schwarze Streifen in derselben Richtung liegen, so wird durch den angegebenen Apparat das Phänomen wegen des eben erwähnten Gegensatzes auffälliger, und deshalb haben wir gerade zur Feststellung der Thatsache diesen Versuch gewählt. — Uebrigens braucht man, wenn man sich von der Thatsache überzeugen will, nur ein Schachbret aus verschiedenen Entfernungen zu betrachten.

Es leuchtet ein, daß die Irradiation für die Astronomie besonders von der größten Wichtigkeit ist. Es scheint wenigstens zunächst so, als ob durch dieselbe auf alle Beobachtungen, welche die Messung der scheinbaren Durchmesser von Himmelskörpern, der Finsternisse, der Vorübergänge der Planeten vor der Sonne rc. zum Zweck haben, ein mehr oder minder großer Einfluß ausgeübt werden müsse. Ohne uns an dieser Stelle hierauf weiter einlassen zu können, genüge die Bemerkung, daß die Astronomen verschiedener Meinung sind, indem die einen das Dasein der Irradiation läugnen, die anderen zugeben. Wir werden im Verlaufe dieses Artikels wieder hierauf zurückkommen.

Um eine Thatsache anzuführen, die allgemein bekannt ist, erwähnen wir das Ansehen des Mondes, wenn er sichelförmig erscheint und zugleich der Rest seiner Scheibe durch schwache Beleuchtung von aschfarbigem Lichte wahrzunehmen ist. Der äußere Umriß des leuchtenden Theiles scheint dann gegen den dunklen Theil einen Vorsprung zu machen, oder — mit anderen Worten — die Sichel scheint einer sehr merkbar größeren Scheibe anzugehören, als der Rest des Mondes.

Das Phänomen der Irradiation ist ein längst bekanntes. Plateau *) hat das Geschichtliche sehr vollständig zusammengestellt von Epicur und Persius bis auf seine Zeit.

Die erste vernünftige Erklärung gab im Jahre 1604 Kepler **), indem er die Ursache der Erscheinung in das Auge des Beobachters selbst versetzte. Nach ihm vereinigen sich, wenn ein leuchtender Punkt jenseits einer gewissen, für jedes Individuum bestimmten Entfernung gebracht wird, die vom Auge aufgenommenen Strahlen, ehe sie die Netzhaut erreicht haben, gehen dann wieder aus einander und malen auf diese Haut nicht einen Punkt, sondern eine kleine Scheibe. Diese Ausbreitung der Lichtpinsel müsse offenbar die Grenzen der Bilder auf der Netzhaut erweitern. Nebenbei nimmt er jedoch noch an, daß die Erzeugung dieser Täuschung eine gewisse Erregbarkeit erfordere, welche die Netzhaut nicht blos in dem Punkte, der dem deutlichen Sehen entspricht, sondern auch rings um diesen Punkt für eine Einwirkung sämmtlicher den ausgebreiteten Lichtpinsel bildender Strahlen empfänglich mache. Nach Kepler's Meinung erzeugt sich also das Phänomen nicht bei allen Individuen.

Galilei, der die Gesetze der Irradiation sorgfältig studirt hatte, war der Ansicht, daß dieselbe sowohl aus einer Brechung in der Feuchtigkeit, welche die Augenlieder auf dem Vordertheile des Auges zurückhalten, entspringe ***), als

*) Mém. de l'acad. de Bruxelles Tom. XI. Pogg. Ann. Ergänzungsband I. (Ll. b.) S. 79 — 128, 193 — 231 und 405 — 443.

**) Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur. Frankfurt 1604. p. 217; vergl. auch p. 199, prop. XXVI. u. p. 200, prop. XXVII.

***) Discorso delle comete di Mario Guiducci (1619) in Opere di Galileo Galilei Florenz 1718. T. II. p. 257.

auch von einer Reflexion an den feuchten Rändern der Augenlider *), so daß das Phänomen nach der Ansicht mancher Naturforscher von gleicher Natur sein würde mit jenen langen Lichtstreifen, welche man von den oberen und unteren Theilen eines hellen Gegenstandes ausgehen sieht, wenn man die Augen theilweise schließt **). Galilei scheint indessen zuletzt selbst an seiner eigenen Theorie Zweifel gehegt zu haben ***). Die Gesetze, welche er fand, waren: 1) Die Irradiation ist desto größer, je heller der Gegenstand ist. 2) Die Irradiation ist um so größer, als der Grund, auf welchem der Gegenstand erscheint, dunkler ist. 3) Die Irradiation, die einen hellen Gegenstand auf dunklem Grunde vergrößert, verringert im Gegentheil die scheinbaren Dimensionen eines auf hellem Felde befindlichen dunklen Gegenstandes. 4) Die Irradiation ist desto größer in Bezug auf den Gegenstand, und hat desto mehr Einfluß, die wirkliche Gestalt desselben zu verstecken, als dieser Gegenstand kleiner ist.

Gassendi schreibt das Phänomen der Erweiterung der Pupille im Dunklen zu ****).

Descartes scheint der Erste gewesen zu sein, welcher die Irradiation durch eine Ausbreitung des Eindrucks auf die Netzhaut erklärt hat *****), und dieser Ansicht ist man im Wesentlichen treu geblieben, bis in der neuesten Zeit sich auch ihre Unstatthaftigkeit herausstellte.

Durch die Erfindung der Fernröhre und durch Newton's Entdeckung der chromatischen Aberration kam in die Untersuchung des Irradiations-Phänomens eine gewisse Unklarheit. De l'Isle †) hatte 1718 beobachtet, daß der Durchmesser der Sonne desto kleiner gefunden werde, mit je längeren Fernröhren man ihn messe, und hatte keinen Anstand genommen, diese Unterschiede von der Brechbarkeits-Aberration herzuleiten. So war eine den Fernröhren inwohnende Ursache entdeckt, durch welche ebenfalls die hellen Gegenstände auf dunklem Grunde vergrößert und die dunklen auf hellem Grunde verkleinert werden mußten. Im Gegensatze zu diesem neuen Phänomen nennt man nun das mit unbewaffnetem Auge wahrgenommene Ocular-Irradiation. Da die letztere aber offenbar bei den mit Fernröhren angestellten Beobachtungen auch eine Rolle spielen muß, darüber jedoch die Astronomen nicht zu rechter Klarheit kamen; so entstanden überhaupt Zweifel über das Dasein der Irradiation, wie die Schriften der Astronomen und Physiker mehrfach bekunden ††), während allerdings auch von manchen Seiten die Ocular-Irradiation positiv angenommen wurde †††). Selbst an den

*) Il Saggiatore in Opere di Gal. Galilei cit. T. II. p. 395.

**) Vergl. Trouessart in Compt. rend. T. XXXVI. (1853) p. 144; dagegen H. Meyer in Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 429.

***) Galilaei, Systema cosmicum, Lyon 1641. Dial. III. p. 248.

****) Gassendi, Opera. T. III. p. 385 ff. p. 567; T. I. p. 499—508.

*****) La dioptrique, Leyde 1637, discours sixième p. 67 u. 68.

†) Mém. de l'acad. des Sc de Paris. 1755. p 145 u 1743. p. 419.

††) Biot, Traité élément. d'astron. phys., edit. 2me. T. I. p. 534. Delambre, Astronomie théorique et pratique. 1814. T. II., chap. 26 §. 197 und T. III., chap. 29. §. 12. de Zach, Correspondance astronomique. 1820 Vol. IV. p. 171.

†††) Hassenfratz, Cours de physique céleste. 1810. §. 33. p. 23; J. Herschel, Traité de la lumière, trad. par Verhulst et Quetelet. T. I. §. 697. p. 451, 452; Quetelet, Positions de physique. 1re. Edit. 1829. T. III. p. 81; Brandes, Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. V. S. 796.

achromatischen Fernröhren hat man noch Irradiationserscheinungen wahrgenommen *).

In Betreff der Ocular-Irradiation führt Plateau **) noch eine Erklärung an von Joslin, Professor zu New-York. Nach diesem wird die Irradiation unmittelbar und hauptsächlich von der Krystalllinse erzeugt, aber von der Iris abgeändert. Die Theile in der Mitte und an den Seiten der Krystalllinse tragen in verschiedenem Grade zur Hervorbringung der Irradiation bei, da der Effect wächst mit der absoluten Entfernung des einfallenden Strahles von der Axe der Krystalllinse und folglich mit der Größe der Pupille 2c. Plateau hat Joslin's Versuche wiederholt, will sie aber nicht bestätigt gefunden haben; gleichwohl dürfen wir diese Ansicht nicht ohne Weiteres verwerfen, wie wir im Verlaufe dieses Artikels sehen werden, da Plateau selbst bei seinen Untersuchungen nicht frei von Irrthümern geblieben ist.

Plateau (a. a. O.) gab durch seine große Arbeit über die Irradiation dem Gegenstande ein besonderes Interesse, und da er bei den Linsen auf Widersprüche stieß gegen seine Theorie der Ocular-Irradiation, so regte er zu neuen Forschungen an. Es lassen sich seine vielfachen Experimente nicht gut im Auszuge mittheilen, wir müssen uns daher — auf die Arbeit selbst deshalb verweisend — auf die Mittheilung der von ihm gewonnenen Resultate beschränken.

Er fand Folgendes:

A. Ocular-Irradiation.

1) Die Irradiation ist eine wohl festgestellte, leicht zu erweisende, sehr veränderliche, aber unter allen Umständen genau meßbare Thatsache.

2) Sie zeigt sich bei jeder Entfernung des sie erzeugenden Gegenstandes, von der kürzesten des deutlichen Sehens bis zu jeder beliebigen.

3) Der Gesichtswinkel, den sie umspannt und der sie mißt, ist unabhängig von der Entfernung des Gegenstandes.

4) Daraus folgt, daß die absolute Breite, welche wir ihr beilegen, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, proportional ist der Entfernung, die zwischen dem Gegenstande und unserem Auge vorhanden ist, oder uns scheint vorhanden zu sein.

5) Die Irradiation wächst mit der Helligkeit des Gegenstandes, aber weit weniger rasch als diese. Verzeichnet man das Gesetz durch eine Curve, welche die successiven Werthe der Helligkeit von Null ab zu Abscissen und die entsprechenden Werthe der Irradiation zu Ordinaten hat, so geht diese Curve durch den Anfang der Coordinaten, kehrt ihre Concavität gegen die Abscissenaxe und besitzt eine dieser Axe parallele Asymptote. Für die Helligkeit wie die des Himmels gegen Norden ist die Curve schon sehr ihrer Asymptote nahe.

6) Wenn das den Gegenstand umgebende Feld nicht völlig lichtlos ist, so wird die Irradiation geschwächt, desto mehr als die Helligkeit des Feldes sich der

*) Robinson, Mem. of the Astron. Soc. of London. Vol IV. Pt. II. p. 293 (1831) und Vol. V. p. 1. Bessel, Astron. Nachrichten. Nr. 228. S. 187.
**) Pogg. Ann. a. a. O. S. 107.

Gleichheit mit der des Gegenstandes nähert. Tritt diese Gleichheit ein, so verschwindet die Irradiation.

7) Daraus folgt, daß wenn zwei gleich helle Gegenstände einander berühren, die Irradiation für jeden von ihnen in dem Punkte oder der Linie der Berührung Null ist.

8) Zwei benachbarte und hinreichend nahe Irradiationen erleiden beide eine Schwächung. Diese Schwächung ist desto beträchtlicher, als die Ränder der leuchtenden Räume, von denen die beiden Irradiationen ausgehen, einander näher sind.

9) Die Irradiation nimmt zu mit der Dauer der Anschauung des Gegenstandes.

10) Bei demselben Individuum und bei einem Gegenstande von gleicher Helligkeit schwankt die Irradiation von einem Tage zum andern.

11) Die von einer und derselben Helligkeit erregte mittlere Irradiation ist sehr verschieden von einem Individuum zum anderen.

12) Die Irradiation wird abgeändert, wenn man eine Linse vor das Auge bringt. Sie wird verringert durch convergirende Linsen, und erhöht durch divergirende.

13) Diese Wirkung der Linsen scheint nur von deren Brennweite abzuhängen, und nicht von den absoluten Krümmungen ihrer Oberflächen. Sie scheint desto stärker zu sein, je kürzer die Brennweite ist.

14) Die wahrscheinlichste Ursache der Irradiation scheint die zu sein, daß der durch das Licht erzeugte Reiz sich auf der Netzhaut ein wenig über den Umriß des Bildes fortpflanzt. Mittelst dieses Satzes, der übrigens auf Thatsachen gestützt ist, kann man alle Gesetze der mit bloßem Auge beobachteten Irradiation erklären; allein man stößt auf Schwierigkeiten, wenn man die Wirkung der Linsen in Betracht zieht.

B. Irradiation bei astronomischen Instrumenten.

15) Der Fehler bei astronomischen Beobachtungen, erzeugt durch das, was man hier Irradiation genannt hat, entspringt aus zwei wesentlich verschiedenen Ursachen: der Ocular-Irradiation und den Abirrungen des Fernrohrs.

16) Bei diesem Gesammtfehler ist der von der Ocular-Irradiation herrührende Theil abhängig von der Vergrößerung an sich, von der Helligkeit des Gegenstandes und von dem Auge des Beobachters. Er wird übrigens bedeutend verringert durch die Wirkung, welche das Ocular des Fernrohrs als eine vor das Auge gebrachte Sammellinse ausübt; und diese Verringerung ist wahrscheinlich desto größer, je kräftiger das Ocular ist. In dem, was das Auge des Beobachters betrifft, muß die Wirkung verschieden sein von einer Person zur andern, und, für eine und dieselbe Person, von einer Zeit zur andern.

17) Dieser nämliche Theil des Gesammtfehlers verschwindet bei den Beobachtungen, wo man ein Mikrometer mit doppeltem Bilde anwendet.

18) Der andere Theil des Gesammtfehlers, d. h. der aus der Abirrung des Fernrohrs entspringende Theil, ist nothwendig verschieden in verschiedenen Instrumenten; allein für ein und dasselbe Fernrohr kann er als nahe constant betrachtet werden.

19) Der Irradiations-Effect bei Fernröhren oder der Gesammtfehler, herrührend von der Ocular-Irradiation und den Abirrungen des Instruments, ist nothwendig veränderlich, weil er von veränderlichen Elementen abhängt. Er wird in gewissen Fällen unmerklich, und in anderen sehr beträchtlich werden können.

20) Selbst mit einem mittelmäßigen Fernrohre und einem sehr zur Irradiation geneigten Auge ist es möglich, mit Hülfe gewisser Verfahrungsarten Resultate zu erhalten, die man als frei von diesem Gesammtfehler betrachten kann.

Es ist auffallend, daß Plateau, ungeachtet er selbst in Nr. 14 gesteht, daß seine Theorie auf Schwierigkeiten stößt, wenn man die Wirkung der Linsen in Betracht zieht, bei dieser Theorie beharrte. Es war daher auch Arago von Plateau's physiologischer Erklärung nicht befriedigt, als er über die Arbeit desselben im Jahre 1839 in der Pariser Academie Bericht erstattete. Arago versprach eine eigene Abhandlung über seine dahin gehörigen Erfahrungen und Ansichten, es ist dieselbe jedoch nicht erschienen; nach Plateau's Gegenerinnerungen *) scheint er indessen die Irradiation als auf dem Principe des anerkannt unvollkommenen Achromatismus des Auges beruhend angenommen zu haben, wenigstens macht der letztere unter dieser Voraussetzung den Einwand, daß man dann in der Beobachtung der Irradiations-Erscheinungen Farbensäume wahrnehmen müßte, was doch nicht der Fall sei. Daß Plateau auch hierin nicht Recht hat, ist von W. Haidinger nachgewiesen **), welcher dergleichen Farbensäume bei mit Stickpapiere angestellten Beobachtungen wahrgenommen hat, und auch Fliedner (s. unten) hat Beweise dafür beigebracht.

Plateau's Arbeit bedurfte einer nothwendigen Revision, der sich namentlich Fliedner unterzogen hat ***); doch ist auch schon vor diesem Dove ins Besondere durch stereoskopische Untersuchungen zu der Ansicht geführt worden, daß die Irradiation ihren Ursprung habe in dem Accommodationsvermögen des Auges, indem für eine gegebene Entfernung dieses für weiße Gegenstände ein anderes sei, als für schwarze ****). Auch Powell *****), Trouessart †) und Vallée ††) sind als Gegner Plateau's zu erwähnen; endlich hat H. Meyer †††) den Nachweis zu führen gesucht, daß die Irradiation hauptsächlich aus der sphärischen Abweichung des Auges entspringe.

Daß Plateau's Ansicht nicht richtig sein kann, ist bereits, als durch seine eigenen Forschungen begründet, oben hervorgehoben. Daß derselbe sich von seinem Irrthume nicht losmachen konnte, erklärt sich zum Theil daraus, daß er die Irradiation naher Objecte von derjenigen ferner gar nicht unterschieden hat. Hätte er dies gethan, so würde er sein 12. Gesetz als nur für nahe Objecte gültig

*) Moigno, Répertoire d'Optique moderne. T. II. p. 609.

**) Sitzungsbericht der math. naturw. Klasse d. K. Acad. d. Wiss. in Wien Octoberheft 1851; Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 358.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 321—350; 460 u. Bd. LXXXVIII. S. 29—44.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXXIII. S. 182. Dove, Darstellung der Farbenlehre. Berlin 1853. S. 178.

*****) Phil. Magaz. 3. Reihe. T. XXXIV. 1849.

†) Compt. rend. 1852. p. 4.

††) Compt. rend. 1852. p. 19.

†††) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 540.

erkannt haben, da für ferne Objecte der Erfolg gerade umgekehrt sich herausstellt, nämlich die Irradiation durch convergirende Linsen erhöht, und durch divergirende verringert wird. Wie wenig dies 12. Gesetz auf Gültigkeit Anspruch machen kann, geht auch daraus hervor, daß Plateau alle seine Beobachtungen nur mit jenseits oder in der Entfernung der deutlichen Sehweite befindlichen Gegenständen angestellt hat, mit Ausnahme derer, wobei er Linsengläser gebrauchte, und, wie aus seiner ganzen Darstellung hervorgeht, bezieht er das angeführte Gesetz, ungeachtet er es aus Beobachtungen dicht vor dem Auge befindlicher Objecte abgeleitet hatte, schlechthin auf die Irradiation ferner Gegenstände.

Derselbe Mangel an Unterscheidung der Entfernungen tritt auch, wie Fliedner hervorhebt, bei dem dritten Gesetze hervor. Für Entfernungen diesseits der deutlichen Sehweite ist dies Gesetz offenbar falsch, denn die scheinbare Breite der Irradiation nimmt dann nicht ab, wie es dies Gesetz verlangt, sondern im Gegentheile zu.

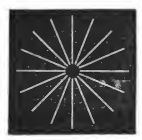
Entschieden gegen Plateau's Ansicht, daß die Irradiation in einer Ausbreitung des Lichteindruckes auf der Netzhaut zu suchen sei, sprechen mehrere Versuche von Meyer, von denen wir nur einen anführen wollen.

Sticht man in eine Tafel Pappe ein kleines Loch (mit einer Stopfnadel) und bringt nahe dahinter die Flamme eines gewöhnlichen Kerzenlichtes, während der übrige Raum des Zimmers dunkel ist, so erscheint einem Beobachter dieser leuchtende Punkt nur in der Nähe scharf begrenzt, in einiger Entfernung sieht man um denselben herum einen Strahlenkranz. Dieser nimmt anfänglich mit der Entfernung schnell zu, erreicht jedoch bald ein Maximum, welches sich dann auf eine ziemliche Entfernung nicht verändert, d. h. das im Auge entstehende Bild bleibt ziemlich dasselbe unabhängig von der Entfernung, nimmt also in Bezug auf die Umgebung in demselben Verhältnisse zu, als diese sich mit der Entfernung verkleinert. Bei größeren Entfernungen nimmt die Intensität bedeutend ab, die äußersten Strahlen werden nicht mehr gefühlt und so tritt wieder eine Verminderung des Strahlenkranzes ein. Die Entfernung, bei welcher der leuchtende Punkt beginnt Strahlen zu bekommen, hängt ab: 1) von dem Auge des Beobachters und 2) von der Größe der Oeffnung. Je kurzsichtiger das Auge ist, um so eher erscheint der Strahlenkranz; je größer die Oeffnung ist, eine um so größere Entfernung ist nöthig. — Geht man nun mit einem geschwärzten Blatte Papier, auf welches man scharf das Auge richtet, von der Seite hinein, so wird der Strahlenkranz immer mehr und mehr abgeschnitten. Als eine bloße Folge der Verminderung der Intensität durch die abgehaltenen Randstrahlen läßt es sich nicht darstellen, da dann das Zurückgehen der Irradiation ein anderes sein müßte, als es sich in der Wirklichkeit darstellt; es müßte sich der Strahlenkranz ringsherum vermindern und in das Papier hineinragen, aber es könnte nicht nur ein Theil desselben in ziemlich gerader Linie (im ersten Theile sogar in einer nach außen, also gerade entgegengesetzt gekrümmten Linie als es der Irradiation zufolge sein müßte) verdeckt werden, während der übrige Theil des Strahlenkranzes unverändert bleibt. Geht man mit dem geschwärzten Blatte so weit vor dem Auge vorüber, daß der eigentliche lichte Kern (die Centralstrahlen) vollkommen verdeckt ist, so sieht man doch noch einen Theil des Strahlenkranzes und kann durch allmäliges Verrücken diesen bis zum äußersten Strahle verfolgen; der äußerste

Strahl ist der letzte, welcher verschwindet. Bei der Erklärungsweise von Plateau wäre dies nicht möglich; man müßte den mittelsten Punkt wahrnehmen bis fast alle Randstrahlen aufgehoben sind. Dabei müßte die verminderte Intensität eine Verminderung des Kranzes von der Peripherie herein bedingen und der eigentliche Kern müßte der letzte Punkt sein, welcher verschwindet.

Unter den Versuchen, welche Fliedner angestellt hat, um hinter die Ursache der Irradiation zu kommen, ist folgender besonders instructiv.

Auf einer kreisförmigen Scheibe von sehr weißem Kartenpapier ziehe man mit schwarzer Tusche 8 oder 16 gleiche Winkel einschließende Durchmesser von höchstens 0,1 Linie Breite (s. beistehende Figur). Bringt man diese Scheibe in senkrechter Stellung zuerst so dicht vor ein Auge (während das andere verschlossen ist), daß alle Durchmesser undeutlich oder doppelt erscheinen, und entfernt sie dann, so sieht man



a) in einer ersten bemerkenswerthen Entfernung einen der Durchmesser, er heiße der erste, schwärzer und mit schärferer Begrenzung, den auf ihm senkrecht stehenden aber heller und breiter, als vorher und nachher hervortreten, während die übrigen Durchmesser eine von jenem nach diesem zu abnehmende Schwärze und Begrenzungsschärfe zeigen. Entfernt man nun die Scheibe allmälig weiter, so gewahrt man, daß jener erste Durchmesser wieder etwas heller wird, dagegen die ihm rechts und lings zunächst liegenden an Schwärze und scharfer Begrenzung zunehmen, und daß zugleich auch der auf dem ersten senkrechte, so wie die ihm zunächst rechts und links liegenden Durchmesser etwas dunkler werden. Die dem ersten rechts und links zunächst liegenden nehmen dann wieder etwas an Schwärze ab, die darauf folgenden aber, so wie immer noch die auf jener senkrechten an Schwärze zu, und diese Drehung schreitet nun mit der Entfernung der Scheibe fort, bis

b) die in einer zweiten bemerkenswerthen Entfernung, wenn die Reihe, am schwärzesten zu werden, an die mit dem ersten einen Winkel von 45° bildenden mittleren Durchmesser gekommen ist, alle Durchmesser gleiche Intensität zeigen; oft indessen treten dabei die mittleren Durchmesser etwas stärker hervor. Entfernt man die Scheibe noch weiter, so schreitet von den mittleren Durchmessern aus nach einer Seite das Schwärzerwerden, nach der anderen das Hellerwerden der Durchmesser fort, bis endlich

c) in einer dritten bemerkenswerthen Entfernung der auf dem ersten senkrecht stehende Durchmesser die größte, der erste selbst aber die geringste Schwärze und Begrenzung zeigt.

Von da an nehmen bei noch weiterer Entfernung der Scheibe alle Durchmesser mehr und mehr an Deutlichkeit ab.

Aus diesen Versuchen mit der Durchmesserscheibe folgt, daß jedes Auge in einem bestimmten Querschnitte eine kürzere, in dem darauf senkrechten eine größere Brennweite hat, als in den übrigen Querschnitten, und daß daher die von einem leuchtenden Punkte ins Auge fallenden Lichtstrahlen niemals in einem einzigen Punkte zusammentreffen, sondern nur innerhalb einer Brenn-

strecke, welche, je nach der Entfernung des leuchtenden Punktes, die Netzhaut mit ihren Endpunkten trifft, oder sie durchschneidet, oder ganz vor oder hinter sie fällt.

Hiernach hält sich Fliedner berechtigt, die sogenannten Irradiationserscheinungen als auf der Lichtzerstreuung beruhend anzusehen, die theils von dem mangelhaften Accommodationsvermögen, theils von der eben erwähnten Beschaffenheit der Augen herrühren, eine Ansicht, welche zum Theil schon von Kepler aufgestellt worden ist *).

Es hat sich nun Fliedner **) auch bemüht, die Verhältnisse festzustellen, welche sich auf die Farben beziehen, welche bei den in Rede stehenden Erscheinungen auftreten. Wir können diese Untersuchungen an dieser Stelle um so mehr übergehen, da sich die Erscheinungen bei dem anerkannten Mangel des Achromatismus im Auge und der verschiedenen Brechbarkeit der Farben ohne Weiteres verstehen müssen, wenn wir die verschiedenen Brennweiten des Auges, wie sich dieselben mit Hülfe der Durchmesserscheibe ergeben, zu Grunde legen. Auch Dove's Untersuchungen (s. oben) können wir hier übergehen. Es genüge die Anführung von dem Endresultate, zu welchem Fliedner gelangte:

Die Erscheinungen der Irradiation sind subjectiv durch das Vorhandensein der Brennstrecke im Auge und durch die Mangelhaftigkeit des Adaptionsvermögens desselben, objectiv einzig und allein durch den Unterschied der Helligkeit der verschiedenen aneinander grenzenden Sehobjecte bedingt. Die Farbenzerlegung des Lichtes durch das Auge hat auf jene Erscheinungen nur einen accessorischen und so wenig bestimmenden Einfluß, daß sie auch bei monochromatischem Lichte stattfinden.

Gegen die Ansicht, daß die Irradiationserscheinungen die Folge einer unrichtigen Lage der Netzhaut seien, ist namentlich Meyer aufgetreten. Die Mangelhaftigkeit des Adaptionsvermögens, in sofern die Netzhaut sich der Entfernung der Oeffnung accommodire, das Licht selbst aber etwas zurückstehe und also ein Bild vor der Netzhaut erzeuge, als Grund für die vorliegenden Erscheinungen wird

*) In Betreff der Adaption oder Accommodation bemerken wir, daß es heutiges Tages als das Wahrscheinlichste angenommen wird, daß der Vorgang der Adaption auf nähere Objecte hauptsächlich auf dem Zurückweichen der Netzhaut und dem Vorrücken der Linse, also auf einer Verlängerung der Axe des Glaskörpers beruhe. „Diese Verlängerung wird durch eine auf den äquatorialen Umfang des Augapfels ausgeübte Zusammendrückung hervorgebracht, welche beide schiefe Muskeln im Verein mit den beiden geraden M. internus und M. externus mittelst gleichzeitiger Zusammenziehung bewirken." (Listing in Wagner's Handwörterb. der Physiologie. Bd. IV. S. 501.) Durch diese Zusammenziehung wird nun wahrscheinlich die Cornea in ihrem horizontalen Durchschnitte etwas convexer und die größere Kurzsichtigkeit der meisten Augen für verticale, als für horizontale Linien innerhalb der deutlichen Sehweite ließe sich dann schon allein daraus erklären. Bei der Adaption in die Ferne läßt nun aber die seitliche Zusammendrückung des Bulbus nach, und daher wird der horizontale Durchschnitt der Cornea weniger convex. Nimmt man nun noch an, daß eine Anspannung des oberen und des unteren geraden Muskels beim Sehen in die Ferne den verticalen Durchschnitt der Cornea etwas convexer mache, so ist die Erscheinung erklärt. — (Fliedner a. a. O. Nr. 27.)

**) A. a. O. Nr. 31—41.

von ihm durch mehrfache Thatsachen zurückgewiesen, z. B. daß man in entsprechender Entfernung einen Irradiationskranz auch um Licht sieht, welches nicht durch einen kleinen Punkt fällt, um jedes Kerzenlicht, um jede Straßenlampe rc. Den Einwand, daß die Lichtquelle ein Körper sei, also das Licht nicht von einer Ebene aussende, widerlegt er durch Rechnung, welche eine Vergrößerung, wie sie hier sich zeigt, nicht ergiebt. Ueberdies zeigt er durch Versuche, daß die Stellung des Lichtes gegen die Oeffnung auf den Erfolg der Erscheinung fast ohne Einfluß ist, so lange die Helligkeit außer Acht gelassen werden kann. Endlich macht er darauf aufmerksam, daß die Irradiation sogleich wegfallen oder sich doch ungemein vermindern müsse, wenn man das Auge auf den hellen Punkt richtet, d. h. der Entfernung des Lichtes accommodirt, was nicht der Fall ist; überdies sei es wahrscheinlich, daß das Auge sich unwillkürlich der Entfernung des Lichtes und nicht der dunkleren Oeffnung anpassen werde.

Eben so wenig stimmt Meyer der oben angeführten Ansicht Kepler's bei, da nach derselben alle Augen in der Entfernung, in welcher sie den Strahlenkranz sehen, kurzsichtig sein müßten. Es bedarf dies hier keiner weiteren Erläuterung. Die Thatsachen, welche derselbe nun anführt als Beweis für die im Auge stattfindende sphärische Abweichung können wir hier auch nicht alle aufführen; es genüge Folgendes:

Wenn man in ein Kartenblatt zwei feine Nadellöcher macht, deren Entfernung von einander kleiner sein muß, als der Durchmesser der Pupille, und die Oeffnung dicht vor das Auge hält, so sieht man einen kleinen Gegenstand, etwa einen Nadelknopf, den man innerhalb der Sehweite vor die Löcher hält, doppelt. Von dem kleinen Gegenstande gelangen nämlich nur zwei ganz feine Strahlenbündel durch die beiden Löcher ins Auge; die beiden Strahlen convergiren aber nach einem Punkte, der hinter der Netzhaut liegt; sie treffen also die Netzhaut in zwei verschiedenen Punkten. Es sind dies zwei isolirte Punkte des Zerstreuungskreises, welcher auf der Retina entstehen würde, wenn die übrigen Strahlen nicht durch das Kartenblatt aufgefangen würden. Wenn man den kleinen Gegenstand mehr und mehr entfernt, so nähern sich die Bilder, weil die beiden durch die Löcher ins Auge fallenden Strahlen nun weniger divergiren und also auch nach einem Punkte hin gebrochen werden, welcher der Retina näher liegt. Hat man den Gegenstand bis auf die Weite des deutlichen Sehens vom Auge entfernt, so fallen die beiden Bilder vollkommen zusammen, weil alle Strahlen, die von einem Punkte ausgehen, der gerade um die Weite des deutlichen Sehens vom Auge entfernt ist, in einem Punkte der Netzhaut vereinigt werden. Entfernt man den Gegenstand weiter vom Auge, so wird, wenn die Netzhaut ihre Lage nicht ändert, der Vereinigungspunkt der Strahlen nun vor die Netzhaut fallen und man somit wieder zwei Bilder erhalten müssen, die jedoch ihre Lage geändert haben; das Bild, welches erst rechts erschien, wird nun links und umgekehrt sichtbar werden. Wenn das Auge aber die Fähigkeit besitzt, sich der Entfernung zu accommodiren, so wird man den Gegenstand immer nur einfach erhalten, wenn nicht der Einfluß der sphärischen Abweichung eine Aenderung bedingt. Nun erscheint der Gegenstand aber wirklich doppelt, namentlich bei kurzsichtigen Augen in geringerer Entfernung, und überdies richtet sich die Entfernung, bei welcher wieder Verdoppelung eintritt, nach der Entfernung der Oeffnungen, was nicht möglich ist, wenn nicht sphärische Abweichung angenommen wird. Das Auge besitzt also nicht

die Fähigkeit, sich bei einiger Entfernung der Vereinigung der Randstrahlen zu accommodiren, wohl aber der Vereinigung der Centralstrahlen. Man kann also annehmen, daß für ganz nahe Strahlen sich ein gutes Auge auf ziemlich große Entfernungen zu accommodiren vermag, nicht so für Randstrahlen, deren Vereinigungspunkt durch die sphärische Abweichung bei einiger Entfernung weiter hineinfällt.

Um nun die Irradiationserscheinungen aus der sphärischen Abweichung zu erklären, macht Meyer noch von folgenden Sätzen Gebrauch:

1) Ist ein Theil der Netzhaut stark gereizt, so verliert der anliegende Theil an seiner Empfindlichkeit *).

2) Der Durchmesser der Pupille ist veränderlich; bei starkem Lichte vermag sie sich zu verengen, bei schwachem zu erweitern, und einen gleichen Einfluß übt die Entfernung des Gegenstandes aus.

3) Die Wirkung der Centralstrahlen ist eine intensivere als die der Randstrahlen, und es werden letztere um so schwächer, je mehr sie sich von den Centralstrahlen entfernen:

a) weil letztere durch Reflexion mehr geschwächt sind; b) weil sie sich bei Annahme sphärischer Abweichung auf einen größeren Raum erstrecken und c) weil sie schief auf die Netzhaut fallen.

Wir sehen hieraus, daß selbst nach Meyer's Ansicht, welche übrigens an die von Joslin erinnert, das Irradiationsphänomen ein complicirtes ist, denn selbst Gassendi's Ansicht, welcher die Erklärung in die Pupille verlegte (s. oben), ist ein Factor, den er zur Geltung zu bringen gezwungen wird; wir werden also wohl auch, neben dem nicht zu bestreitenden Einflusse der sphärischen Abweichung, gut thun, die durch die Durchmesserscheibe von Fliedner erwiesene verschiedene Brennweite in den verschiedenen Querschnitten des Auges bei diesem Phänomen mit in Rechnung zu ziehen. Jedenfalls sind jetzt die unhaltbaren Theorien, wie die von Plateau, in ihrer Unhaltbarkeit nachgewiesen, und anderer Seits erscheinen die auf das Phänomen Einfluß ausübenden Punkte so erschöpfend festgestellt, daß die Erklärung nun als sicher begründet angesehen werden dürfte.

H. E.

Irrlichter. Während im Munde des Volkes diese Erscheinung unzweifelhaft feststeht, ja als etwas ganz Gewöhnliches gilt, von dem viel erzählt wird, hat sie sich vorurtheilsfreien Augen so selten dargeboten, daß wir nicht allein über das Wesen derselben vollständig im Unklaren sind, sondern auch die Existenz überhaupt sogar noch von einigen Männern der Wissenschaft bestritten wird. So weit darf man aber auch nicht gehen, denn die neuere Zeit hat uns einige, freilich sehr vereinzelt dastehende Beobachtungen geliefert, die man nicht ganz verwerfen kann.

Im Allgemeinen belegt man mit dem Namen Irrlicht eine Lichterscheinung, die sich namentlich an sumpfigen Orten, überhaupt da, wo thierische oder pflanzliche Stoffe verwesen, also auf Kirchhöfen 2c. dicht über dem Erdboden in der Luft schwebend und in beständiger Bewegung zeigen soll, besonders reichlich in wärmeren Gegenden. Ist die Flamme von beträchtlicher Größe, so nennt man sie

*) Brewster in Pogg. Ann. Bd. XXVII.

Irrwisch. Unter den älteren Berichten sind sehr wenige, die Vertrauen verdienen, denn einmal tragen sie stark das Gepräge eines Vorurtheils, genährt durch den Aberglauben, den diese Erscheinungen in der Phantasie des Volkes erweckten und der sogar die Gelehrten theilweise ansteckte, und dann hat man hier viele Dinge unter einander gemengt, die ganz davon zu sondern sind. Daher gehen wir hier auch gar nicht darauf ein, denn Aufschluß gewähren sie in keiner Weise, da sie oft sogar der Zuverlässigkeit entbehren. Hierüber klagt schon Gilbert *) und doch sollte es nicht schwer halten, wenn diese räthselhafte Erscheinung wirklich so häufig wäre, wie man erzählt, zuverlässige Beobachtungen in Menge beizubringen, denn mancher Physiker hat Nächte im Freien zugebracht und gerade an geeigneten Stellen. Selbst die neueste Zeit, die doch so Manches aufgeklärt hat, ist äußerst arm an zuverlässigen Beobachtungen, aber diese wenigen erregen einiges Interesse.

Unter ihnen verdient am meisten die älteste ihres Gewährsmannes wegen, des bekannten Astronomen Bessel **) Beachtung. In einer völlig trüben und windstillen Nacht, in welcher von Zeit zu Zeit ein schwacher Regen fiel, — früh am 2. December 1807 — als er auf dem Flüßchen Wörpe in einem Kahne fuhr, beobachtete er aus der Ferne auf einem großen Moore des Herzogthums Bremen, 2 Meilen nordöstlich von dem Amte und der ehemaligen Sternwarte Lilienthal hunderte von Flämmchen von etwas bläulicher Farbe, ähnlich der des unreinen Wasserstoffgases, die nach einiger Zeit wieder verschwanden. Die Lichtstärke war unbeträchtlich, da nicht bemerkt werden konnte, daß der Grund, über welchem die Flammen brannten, merklich erleuchtet worden wäre oder daß ihre oft große Zahl eine merkliche Helligkeit verbreitet hätte. Oft blieben die Flämmchen in unveränderter Stellung, oft nahmen sie eine Stellung in horizontaler Richtung an, welche gewöhnlich zahlreiche Gruppen derselben gleichzeitig erfuhren, so daß einer der Augenzeugen sie mit schaarenweise ziehenden Wasservögeln verglich. Auf der Stelle, wo die Irrlichter erschienen, hatten die Moor-Colonisten vielen Torf gegraben, wodurch der Boden uneben und der Ansammlung des Wassers günstig geworden. Das hohe Moor schienen die Flämmchen nie zu ersteigen. Die Ruderer des Kahnes, die diesen Weg oft in der Nacht machten, betrachteten diese Erscheinung als etwas ganz Gewöhnliches und waren weit davon entfernt überrascht zu sein.

Die Zweifel, welche sich immer noch gegen das Dasein dieser räthselhaften Erscheinung geltend machen, veranlaßten den Dr. Galle das, was ihm ein Studirender der Astronomie, Vogel aus Leipzig, der zweimal Irrlichter gesehen haben wollte, darüber erzählte, öffentlich bekannt zu machen ***). „Zuerst", heißt es, „sah ich Irrlichter in der sächsischen Lausitz an einem dunkeln, regnigten Abend des Septembers 1849 auf dem Wege von Kamenz nach Königsbrück. Auf dem sumpfigen Ufer einiger Teiche zeigten sich eine Menge jener kleinen Flämmchen. Die Bewohner der Gegend erklärten die Erscheinung für sehr gewöhnlich. — Im darauf folgenden November wurde ich darauf aufmerksam gemacht, daß auf einer kleinen, feuchten, erst in neuerer Zeit mit Gräben durchzogenen Wiese vor dem

---

*) Ann. Bd. LXX. S. 225.
**) Pogg. Ann. Bd. XLIV. S. 366.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 593.

Tauchaer Thore bei Leipzig in der Nähe der Dresdner Eisenbahn sich Irrlichter in Menge sehen ließen. An einem ziemlich kalten und hellen Abend bemerkte ich in dem nur schlammigen Graben ein schwaches Leuchten und sah ein kleines Flämmchen, etwa so hell wie Dämpfe, die ein schwach geriebenes Phosphorhölzchen ausstößt, und diesen sehr ähnlich, aufflammen, sogleich wieder verschwinden und nach etwa drei Secunden an derselben Stelle wieder kommen und eben so rasch erlöschen. Ich beobachtete dasselbe in unmittelbarer Nähe mehrere Minuten, ohne daß ich einen besonderen Geruch oder Rauch bemerkt hätte. Das Flämmchen leuchtete etwa 3 Zoll über dem Boden und war etwa 1 Zoll hoch und glich vollkommen der Erscheinung bei Kamenz; nur waren dort die Lichtchen weit zahlreicher, so daß es fast das Ansehen hatte, als schiene der Mond auf bewegtes Wasser. Ein Forthüpfen habe ich nie bemerkt, indeß hatte es, wenn ein Flämmchen erlosch und ein anderes an einer anderen Stelle erschien, das Ansehen, als ob sie sich bewegten. Der in der Nähe der Wiese stationirte Eisenbahnwärter erzählte von der Menge Johanniswürmchen, welche so spät noch die Wiese bedeckten." Außerdem will Vogel auch auf Reisen fast überall, wo sumpfige Wiesen waren, gehört haben, daß die Irrlichter auch von gebildeten Leuten als eine ganz ausgemachte Sache und gewöhnliche Erscheinung angesehen wurden. Wir wollen hierzu bemerken, daß uns die jüngste Zeit hinreichend gelehrt hat, einen wie großen Werth die Aussagen der sogenannten gebildeten Leute haben. In Leipzig hat man sich die Mühe nicht verdrießen lassen, eine lange Zeit hindurch nach dem bezeichneten Orte hinaus zu wandern, ohne je auch nur eine Spur von einem Irrlichte gesehen zu haben.

Ferner berichtet Knorr, Professor der Physik an der russischen Universität Kiew *), daß er dreimal in seinem Leben Irrlichter gesehen habe, freilich zweimal in seiner Kindheit und zwar jedesmal ruhig leuchtend, nicht hüpfend. Zum dritten Mal trat ihm das Irrlicht in einer sumpfigen Niederung entgegen, als er spät Abends schon als Student auf einer kleinen Wanderung von Schlieben nach Herzberg begriffen war. Eben aus der tiefen Dunkelheit, mit welcher ein Wald die Straße bedeckte, herausgetreten, bemerkte er an dem Waldsaume auf einer Hutung einige Lichter. Anfangs glaubte er, daß Bauern mit Laternen im Sumpfe seien, um dort etwa weidende Pferde einzufangen. Jedoch war die Dämmerung noch licht genug, um auf der freien Fläche sich bewegende Menschen zu erkennen, besonders wenn sie Laternen trugen. Es war aber weder von Menschen noch von Vieh etwas zu sehen oder zu hören. Weiterhin auf dem Wege bot sich ihm ein unerwartetes Schauspiel dar. Kaum einige Schritte von dem Wege leuchtete das schönste Irrlicht. Zwischen den Blättern von einigen hohen Schilfstauden schimmerte das falbe Licht durch; den Hintergrund bildete ein Erlenbusch, fast im Halbkreise gewachsen, so daß das Lichtchen wie in einer grünen Nische stand. Busch, Schilf und Gras waren so schön beleuchtet, daß Knorr längere Zeit das liebliche Bildchen mit wahrem Entzücken betrachtete. Der Sumpf verbot die Annäherung an das Licht; K. konnte nur so weit vorrücken, um das Schilf gerade nur mit den Fingerspitzen zu berühren. Mit Hülfe des Stockes gelang es ihm, das Schilf so weit herunterzuschlagen, daß der obere Theil des Flämmchens ganz sichtbar wurde. So weit er es frei betrachten konnte, schätzt er die Länge auf 5", die Breite

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 620.

auf $1^1/_2$''; die Form giebt er als Cylinder an. Das Licht war in der Mitte matt, ohne Glanz, mit einem schwach gelben Schein, gegen die Ränder wurde es erst leicht, dann dunkler violett und verlor sich in dem dunkeln Raum ohne scharfe Begrenzung. Die Luft war ganz ruhig und auch das Lichtchen zeigte durchaus keine Bewegung. Selbst wenn man einen starken Luftzug hervorzubringen suchte, so zeigte das Licht bei weitem nicht die Beweglichkeit einer gewöhnlichen Flamme. K. hielt die Spitze seines mit einer dünnen Hülse von Messingblech beschlagenen Stockes wohl über eine Viertelstunde lang in die Flamme, konnte jedoch nicht die geringste Spur einer Erwärmung bemerken. Als er versuchte den Sumpf mit dem Stocke aufzurühren, äußerte dies keine Wirkung auf das Irrlicht. 27 Jahre sind seitdem verflossen, viele Nächte ist K. seit jener Zeit in den verschiedensten Gegenden auf der Landstraße oder sonst im Freien gewesen und hat nie wieder ein Irrlicht gesehen. Keiner seiner Bekannten, die er darum befragte, kannte diese Erscheinung anders als nur durch Hörensagen.

Mit diesen Beobachtungen im Widerspruch steht die Aussage von de la Selve *). Am 22. December 1839 des Abends, bei gelindem und regnigtem Wetter sah man zu Fontainebleau in mehreren Straßen phosphorische Flammen aus schlammigen Pfützen aufsteigen. Beim Austreten aus dem Wasser, aus dem sie sich zu erheben schienen, bewirkten diese Flammen ein Knistern. Ueberall, wo man diese Erscheinung beobachtete, war die Luft mit einem starken Phosphorgeruch erfüllt, selbst bis zu einem ziemlichen Abstande von den Pfützen, aus denen die Flammen entwichen. Je mehr man das Wasser umrührte, desto häufiger zeigte sich der phosphorische Schimmer.

Auch Richter, Director der Realschule in Saalfeld, bezeugt **) das Dasein der Irrlichter. Zum ersten Mal — freilich noch als Knabe — sah er Irrlichter auf einer Nachtfahrt über den Rosengarten in der Nähe von Oberhof. Der Luftzug, den der schnell rollende Wagen erregte, riß ein Irrlicht mit fort, das sich in Sprüngen mit fort bewegte. Dann sah er als Student an einem regnerischen Abend auf einer Wiese bei Römhild, die aus einem trocken gelegten Teiche gewonnen worden war, zwei Irrlichter ruhig stehen. Auch bei Saalfeld sollen solche am Grenzhause manchmal vorkommen.

Hierauf beschränken sich im Wesentlichen unsere ganzen Kenntnisse dieser räthselhaften Erscheinung. Keine der mitgetheilten Beobachtungen ist geeignet auch nur den geringsten Aufschluß über die Ursache oder das Wesen der Irrlichter zu geben und so blieb denn der Phantasie ein weiter Spielraum. Es fehlt daher nicht an versuchten Erklärungen, von denen aber keine genügt. Die Zweifler, auch schon in älterer Zeit, wie Willoughby, Ray und Vallisneri setzen alle Irrlichter auf Rechnung leuchtender Insecten. Kastner ***) bringt die Irrlichter mit den Sternschnuppen und Kometen zusammen, eine Ansicht, die keiner Widerlegung bedarf. Andere lassen hierbei die Elektricität mitwirken; so Volta ****), der eine Entwickelung von Kohlenwasserstoffgas (Sumpfgas)

*) Compt. rend. T. X. p. 202.
**) Zeitschr. f. d. gesammt. Naturw. Bd. III. S. 49.
***) Meteorologie. Bd. I. S. 416.
****) Lettere sull' aria inflammabile nativa delli paludi. Como 1776.

annahm, das durch einen elektrischen Funken entzündet werden sollte. Daran aber ist nicht zu denken. Schon Gehler hält sie für die Wirkung einer durch Fäulniß erzeugten phosphorescirenden Materie. In dieser Hinsicht verdient eine Bemerkung von Dechales Beachtung. Er erzählt, daß Fludd, als er einst ein Irrlicht verfolgt und zu Boden geschlagen hatte, eine schleimige Substanz wie Froschlaich gefunden habe. Eine ganz gleiche Beobachtung berichtet Chladni *). Er sah 1781 an einem warmen Sommerabend kurz nach einem Regen in einem Garten bei Dresden viele leuchtende Punkte im Grase hüpfen, welche sich nach der Richtung des Windes bewegten und deren einige sich an die Räder des Wagens setzten. Sie flohen bei der Annäherung und es war schwer, sie zu erhaschen; gelang es aber, so zeigten sie sich als kleine gallertartige Massen, dem Froschlaich oder gekochten Sagokörnern ähnlich. Sie hatten weder einen bemerklichen Geruch, noch Geschmack und schienen modernde Pflanzentheile zu sein. Dadurch wäre freilich, wenn diese Beobachtung eine weitere Bestätigung gefunden hätte, die räthselhafte Erscheinung auf eine mehr bekannte zurückgeführt, aber gewonnen wäre trotzdem nichts, denn das Leuchten lebender oder verwesender Pflanzen ist bis jetzt eben so wenig erklärt.

Ferner nimmt man an, daß die Irrlichter Folge einer Gasentwickelung seien. Die Orte, an welchen hauptsächlich die Irrlichter vorkommen sollen, lassen nun zwar, wegen der dort in Zersetzung begriffenen thierischen und pflanzlichen Stoffe eine Entwickelung von Phosphorwasserstoff zu, aber damit ist auch nichts gewonnen. Vogel bemerkt ausdrücklich, daß die Irrlichter weder der Flamme selbstentzündlichen Phosphorwasserstoffgases noch der der Sumpfluft ähnlich gewesen seien. Eben so wenig ist von dem sich nicht selbst entzündenden Phosphorwasserstoffgase bekannt, daß es im Dunkeln leuchte.

Mit der allgemeinen Annahme, daß die Irrlichter nicht wirkliche Flammen sind, sondern nur phosphoresciren, so wie überhaupt mit den gemachten Mittheilungen steht eine Beobachtung des Dr. Quirico Barilli Filopanti zu Bologna **) im Widerspruch. Ein Maler versicherte ihm, daß eines Abends plötzlich auf der Straße zwischen den Steinen, so zu sagen zwischen seinen Füßen, ein feuriger Ball in Gestalt einer Flamme emporgestiegen sei, die sich schnell erhob und gleich darauf verschwand. Er wollte die Hitze im Gesicht, an dem sie nahe vorbeigegangen, deutlich gefühlt haben. F. fand sich dadurch veranlaßt eine lange Zeit hindurch des Abends fleißig diejenigen Orte in der Umgegend zu besuchen, die ihm als solche bezeichnet wurden, an denen Irrlichter zum Vorschein kämen. Obgleich sie sich gerade im Herbst am häufigsten zeigen sollten, waren doch seine Gänge oft vergebens und im Ganzen bekam er nur drei Irrlichter zu sehen, in verschiedenen Nächten. Das erste war, wie er sagt, eines von jenen, die aus der Erde kommen, sich bis zu einer gewissen Höhe erheben und dann plötzlich verlöschen. Dies stieg schnell bis zur Höhe von 3 bis 4 Meter auf und verschwand mit einem kleinen Knall. Das zweite bewegte sich horizontal, wurde lange verfolgt, aber vom Winde über einen Fluß getragen. Das dritte wurde in der Nähe einer Hanfröste in der Parochie St. Donino, die, namentlich bei der kleinen Kirche

*) Ueber den Ursprung einiger Eisenmassen. Leipzig 1794. S. 334.
**) Annali di fisica. 1841. Vol. III. p. 36. Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 350.

Ascensione reich an Irrlichtern sein soll, beobachtet. Nach längerem vergeblichen Warten erschien endlich an einem regnigten Octoberabend, dem ein Nordlicht vorangegangen war, das erwünschte Licht. Es hatte die Gestalt und Farbe einer gewöhnlichen Flamme, Oben mit einem leichten Rauch, war fast ein Decimeter dick und schritt langsam von Süden nach Norden vorwärts. Als F. sich ihm näherte, änderte es die Richtung und entfernte sich, wobei es sich erhob. Werg, welches, um einen Stock gewickelt, hineingehalten wurde, entzündete sich mit Leichtigkeit und als F. den Stock über seinem Kopf schwang, wurde das brennende Werg sehr leicht durch die fernstehenden Bauern von dem Irrlichte unterschieden. Kurz darauf erlosch dasselbe in einer Höhe von 2 bis 3 Mann. Ein anderes kleineres erschien sehr bald wieder auf einer weiterhin gelegenen Röste, erlosch aber schon nach einigen Secunden. F. sah weder in dieser Nacht noch nachher diese Erscheinung. Die Ueberreste des Werges rochen nicht nach Phosphor, sondern hatten einen gewissen sehr schwachen Geruch, der etwas Schwefelartiges und Ammoniakalisches zu haben schien.

Dergleichen Erscheinungen sollen in Italien häufig sein, namentlich auf einigen dürren Hügeln bei Nizza *) und auf morastigen Wiesen am Po. Doch vom wirklichen Brennen wird nichts gemeldet, man hält sie auch nur für phosphorescirende Gasströme. Von den oben beschriebenen Erscheinungen sind sie jedoch ihrer bedeutenden Größe wegen wesentlich verschieden. Das Volk nennt sie dort gleichfalls Irrlichter und erzählt sich von ihnen dieselben Mährchen wie bei uns. Hierher ist auch ein Phänomen zu rechnen, welches Dr. Doé im Mai 1821 auf einer morastigen Wiese bei Brienne sah. Ihm scheinen ähnliche Vorgänge — die Irrwische — ganz unbekannt gewesen zu sein, denn er bringt diese Erscheinung, von der er freilich eine abenteuerliche Beschreibung macht **), mit mancherlei anderen zusammen. Das Licht hatte bei einer mächtigen Ausdehnung in die Breite eine Höhe von 12 Fuß, sank aber nach einer halben Stunde bis auf 4 Fuß herab. Der Glanz, ohne Hitze, war so bedeutend, daß man dabei lesen konnte. Er verschwand erst nach einer Stunde.

Ueberblicken wir das Gesagte, so müssen wir die Existenz dieser räthselhaften Erscheinungen wohl zugeben, aber über das Wesen und den Grund weder der einen noch der anderen wissen wir auch nicht das Geringste. In heutiger Zeit unterläßt es die ernste und nüchterne Wissenschaft, da, wo die Beobachtung zugänglich ist, sich in luftige Hypothesen zu verlieren; nur sorgfältige Beobachtungen können hier zu einer Erklärung führen. W. B.

Isobarometrische Linien, s. Atmosphäre Bd. I. S. 522.

Isochromatische Linien, s. Polarisation des Lichtes.

Isochronismus, s. Compensation und Pendel.

Isoclinische Linien, s. Neigung der Magnetnadel.

Isogonische Linien, s. Abweichung der Magnetnadel.

Isodynamische Linien, s. Magnetismus der Erde.

---

*) Risso, hist. natur. des princip. productions de l'Europe meridionale. Paris 1826. p. 296.

**) Gilb. Ann. Bd. LXX. S. 225.

Isomerie — gebildet aus ἴσος, gleich und μέρος, Theil, Antheil. Mit diesem Wort, das von **Berzelius** in die Chemie eingeführt worden ist *), bezeichnet man die Eigenthümlichkeit zweier oder mehrerer Verbindungen bei gleicher procentischer Zusammensetzung mit wesentlich verschiedenen Eigenschaften aufzutreten, so daß die isomeren Verbindungen sehr oft trotz der gleichen elementaren Zusammensetzung, nicht die mindeste Aehnlichkeit mit einander zeigen; oft stehen sie sich näher und hier ist die Verschiedenheit mehr physikalischer Natur, d. h. die eine Verbindung ist krystallinisch, die andere nicht, aber die Form der Krystalle, die Härte, das specifische Gewicht, der Schmelzpunkt 2c. ist verschieden. Solche Verbindungen nennt man Modificationen. Die chemischen Eigenschaften zeigen auch hier Abweichungen, doch sind diese mehr untergeordneter Art. Hierher könnte man alle unorganischen Verbindungen rechnen, die bei gleicher procentischer Zusammensetzung dasselbe Atomgewicht besitzen; also Kieselsäure, Zinnoxyd, Chromoxyd, arsenige Säure, Quecksilberoxyd 2c., bei denen dergleichen vorkommt, deren verschiedene Verbindungen sich aber doch gegen die Hauptreagentien genau auf gleiche Weise verhalten und die alle mehr oder weniger leicht aus der einen in die andere übergeführt werden können. Doch ist man hier in der Bezeichnungsweise durchaus nicht einig.

Anders ist es nun bei den organischen Verbindungen überhaupt und bei einigen unorganischen. So z. B. besitzen Zucker, Stärkemehl und Dextrin alle drei die Formel $C^{12} H^{10} O^{10}$; aus der unorganischen Chemie führen wir als Beispiel die unterschweflige Säure und die Pentathionsäure an, die beide genau gleiche Mengen von Schwefel und Sauerstoff enthalten, aber doch ganz verschiedene Körper sind, wie auch die drei ersteren sich wesentlich von einander unterscheiden.

Die Fortschritte der organischen Chemie stellten eine große Zahl isomerer Verbindungen auf und unter diesen zeigte sich wieder eine Verschiedenheit, die eine weitere Eintheilung verlangte. **Berzelius** unterscheidet **) zwei Klassen von isomeren Verbindungen; solche, welche dieselbe absolute und relative Anzahl von Atomen derselben Elemente enthalten und solche, bei denen zwar die relative, aber nicht die absolute Atomenanzahl gleich ist; d. h. jene besitzen bei gleicher procentischer Zusammensetzung dasselbe, diese ein verschiedenes Atomengewicht. Erstere nennt man metamerische (von μετά, in derselben Bedeutung genommen wie in Metamorphose), letztere polymerische (von πολύς, viel) Körper. Aus der großen Zahl dieser Verbindungen führen wir als Beispiele für die Metamerie folgende an: Propionsäurehydrat ($C^6 H^5 O^3 + HO$), ameisensaures Aethyloxyd ($C^2 HO^3 + C^4 H^5 O$) und essigsaures Methyloxyd ($C^4 H^3 O^3 + C^2 H^3 O$); alle drei sind also nach der Formel ($C^6 H^6 O^4$ zusammengesetzt; Essigsäurehydrat ($C^4 H^3 O^3 + HO$) und ameisensaures Methyloxyd ($C^2 HO^3 + C^2 H^3 O$) besitzen beide die Formel $C^4 H^4 O^4$. In anderen Fällen können wir die verschiedene Gruppirung der Elemente nicht nachweisen, wie z. B. bei der Weinsteinsäure und Traubensäure, die beide nach der Formel $C^8 H^4 O^{10}$ zusammengesetzt sind; bei dem bereits oben angeführten Beispiel von Zucker, Stärkemehl und Dextrin. Solche Verbindungen, deren rationelle Formeln wir noch nicht kennen, bezeichnet man auch wohl als eigentlich

*) Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 326.
**) Pogg. Ann. Bd. XXVI. S. 320.

isomere. Repräsentanten der Polymerie sind unter anderen die zahlreichen Kohlenwasserstoffe; Aldehyd ($C^4H^4O^2$) und essigsaures Aethyloxyd ($C^4H^3O^3 + C^4H^5O$); Methyloxyd (C^2H^3O) und Aethyloxydhydrat ($C^4H^5O + HO$) und von den sparsamen Beispielen aus der unorganischen Chemie führen wir die unterschweflige Säure (S^2O^2) und die Pentathionsäure (S^5O^5) an. Vielleicht aber sind auch die oben als Modificationen bezeichneten unorganischen Verbindungen hierher zu rechnen; eine Entscheidung wird jedoch sehr schwer halten. Für diese unorganischen Verbindungen hat Berzelius später eine eigene Art der Isomerie angenommen. Man hat nämlich gefunden, daß auch die einfachen Körper, die Elemente, in verschiedenen Modificationen auftreten (Allotropie — von ἄλλος, anders, und τροπή, Wendung, Veränderung). — Wir erinnern hier nur an Schwefel, Kohlenstoff, Phosphor, Kiesel. Die Isomerie der unorganischen Verbindungen soll in der Allotropie der Elemente ihren Grund haben.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß die Isomerie im Allgemeinen auf sehr schwachen Füßen steht, so weit es die Modificationen und die isomeren Körper im engeren Sinne betrifft, die unfehlbar bei Erweiterung unserer Kenntnisse eine andere Stelle einnehmen werden. Metamerie und Polymerie hingegen existiren unzweifelhaft. W. B.

Isomorphismus (von ἴσος, gleich, und μορφή, Gestalt). Die von Mitscherlich begründete Lehre vom Isomorphismus ist der erste wichtige Schritt zur Entwickelung der Gesetze, welche zwischen der äußeren Gestalt der natürlichen Körper, der Krystallgestalt und deren chemischer Constitution bestehen, indem sie unwiderleglich bewies, daß es Stoffe von verschiedener chemischer Beschaffenheit, aber gleicher atomistischer Zusammensetzung und Krystallgestalt giebt, welche einander in ihren Verbindungen, im Verhältniß ihrer Aequivalente, vertreten können, ohne daß die Krystallform der betreffenden chemischen Verbindung dadurch sich wesentlich ändert. Einzelne Forscher hatten wohl früher schon einen Zusammenhang in dieser Hinsicht geahnt, wie Werner, Leblanc, Vauquelin, Berthier, Berthollet, Gay-Lussac *) u. A., wogegen Hauy den Satz aufgestellt hatte: jede Verschiedenheit der Zusammensetzung bedinge auch eine Aenderung der Krystallgestalt. Die vereinzelten Beobachtungen, auf welche Jene fußten, gestatteten jedoch keineswegs die Annahme allgemeiner Gesetze und erst Mitscherlich **) gelang es durch seine mühevollen und umfänglichen Arbeiten, in denen er eine große Anzahl schlagender Beispiele auffand, die Lehre vom Isomorphismus zur wissenschaftlichen Geltung zu bringen. Er bewies, daß Phosphorsäure und Arsensäure bei gleichem Wassergehalte und Sättigungsgrade mit derselben Basis isomorphe Salze bilden, desgleichen Schwefelsäure, Selensäure, Mangansäure und Chromsäure, Ueberchlorsäure und Uebermangansäure, woraus er denn schloß, daß Phosphorsäure und Arsensäure, Schwefelsäure, Selensäure, Mangan- und Chromsäure, Ueberchlor- und Uebermangansäure, je eine Gruppe von isomorphen Säuren bilden. Thonerde, Eisenoxyd und Chromoxyd krystalliren

*) Kopp, Geschichte d. Chemie. Bd. II. S. 405.

**) Die wichtigsten Arbeiten Mitscherlich's findet man: Ann. de Chim. et de Phys. T. XIV. p. 172; T. XIX. p. 350; T. XXIV. p. 264 u. 355. Pogg. Ann. Bd. XII. S. 137; Bd. XXV. S. 300; Bd. XLIX. S. 401.

in Rhomboëdern von fast völlig gleichen Dimensionen, sie sind daher isomorphe Basen; ferner sind Kalkerde, Talkerde, Eisen-, Manganoxydul, Zinkoxyd isomorphe Basen, weil sie in ihren Verbindungen mit derselben Säure (und demselben Wassergehalt) sehr nahe dieselben Krystallformen zeigen; aus demselben Grunde gelten Baryt, Strontian und Bleioxyd für isomorph. Wir führen in Folgendem nur einige der Ergebnisse an, welche Mitscherlich's und Anderer Untersuchungen zu Tage gefördert haben, indem wir auf ein vollständiges Verzeichniß der hierher gehörigen Thatsachen in Gmelin, Handbuch. Bd. I. S. 84 verweisen.

I. Gleich krystallisirende Körper des Tesseralsystems.

*) a) Diamant, Phosphor, Kalium, Natrium, Titan, Kadmium, Blei, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Iridium, Zinn, Palladium, Zink.

b) K Cl K J K Br. K F K Cy Ni As (Arsenikniсkel)
Na Cl Na J Na Br. Na F Na Cy
L Cl Zn J Ca F (K Cy + Ag Cy)
NH_4 Cl NH_4 Cy
Ag Cl

c) Cu_2O, Cu_2S, Cu_2Cl.

d) AsO_3 — SbO_3

e) MgO, Al_2O_3 (Spinell); MgO, FeO, Al_2O_3 (Pleonast); MgO, Fe_2O_3 (Chlorospinell); ZnO, Al_2O_3 (Gasnit); ZnO, Fe_2O_3 (Franklinit); FeO, Fe_2O_3 (Magneteisen); FeO, Fe_2O_3 (Chromeisen).

f) BaO, NO_5; SrO, NO_5; PbO, NO_5 (Berzelius).

g) Die sogenannten Alaune nach der Formel: MO, SO_3 + M_2O_3, SO_3 + 24 HO, in welchen MO und M_2O_3 vertreten

$$MO = \begin{cases} KO \\ NaO \\ NH_4O \\ LO \end{cases} \qquad M_2O_3 = \begin{cases} Al_2O_3. \\ Fe_2O_3. \\ Cr_2O_3. \\ Mn_2O_3. \end{cases}$$

Tetragonal-System.

II. NiO, SO_3 + 7 HO. III. KO, PO_5 + 2 HO. IV. CaO, WO_3 (Tungstein).
NiO, SeO_3 + 7 HO. KO, AsO_5 + 2 HO. PbO, WO_3 (Scheelbleierz).
ZnO, SeO_3 + 7 HO. NH_4O, PO_5 + 2 HO. PbO, MoO_3 (Gelbbleierz).
NH_4O, AsO_5 + 2 HO. PbO, CrO_3.

Rhombisches System.

V. AsO_3. VI. a) CaO, CO_2 (Arragonit). VII. a) BaO, SO_3 (Schwerspath).
SbO_3. BaO, CO_2 (Witherit). SrO, SO_3 (Cölestin).
SrO, CO_2 (Strontianit). PbO, SO_3 (Bleivitriol).

*) Die mit a, b, c, bezeichneten Abtheilungen enthalten Körper von gleicher atomistischer Constitution; die Zahlen I., II. ic. umfassen Verbindungen von gleicher Krystallform.

PbO, CO_2 (Weißbleierz).
FeO, CO_2 (Junkerit).
b) KO, NO_5.

b) $KO, Cl\,O_7$.
$KO, Mn_2\,O_7$.
$NH_4\,O, Cl\,O_7$.
$NH_4\,O, Mn_2\,O_7$.

VIII. a) KO, SO_3.
KO, SeO_3.
KO, CrO_3.
$KO, Mn_2\,O_7$.
b) $NH_4\,O, SO_3 + HO$.

IX. a) $MgO, SO_3 + 7\,HO$.
$ZnO, SO_3 + 7\,HO$.
$NiO, SO_3 + 7\,HO$.
$MgO, SeO_3 + 7\,HO$.
$ZnO, SeO_3 + 7\,HO$.
b) $Sb\,S_3$.
$As\,S_3$.

X. $NaO, PO_5 + 4\,HO$.
$NaO, AsO_5 + 4\,HO$.

Monoklinoëdrisches System.

XI. $CaO, SO_3 + 2\,HO$.
$CaO, SeO_3 + 2\,HO$.
$FeO, SO_3 + 2\,HO$.

XII. $MgO, SO_3 + 7\,HO$.
$ZnO, SO_3 + 7\,HO$.
$CoO, SO_3 + 7\,HO$.
$NiO, SO_3 + 7\,HO$.
$FeO, SO_3 + 7\,HO$.
$MgO, SeO_3 + 7\,HO$.
$CoO, SeO_3 + 7\,HO$.

XIII. $FeO, SO_3 + 6\,HO$.
$CoO, SO_3 + 6\,HO$.
$MnO, SO_3 + 6\,HO$.
$CoO, SeO_3 + 6\,HO$.

Triklinoëdrisches System.

XIV. $MnO, SO_3 + 4\,HO$.
$MnO, SeO_3 + 4\,HO$.
$ZnO, SeO_3 + 4\,HO$.
$CoO, SeO_3 + 4\,HO$.

XV. $CuO, SO_3 + 5\,HO$.
$CuO, SeO_3 + 5\,HO$.
$MnO, SeO_3 + 5\,HO$.

Hexagonalsystem.

XVI. Arsenik.
Antimon.
Tellur.
Osmium.
Iridium.
Palladium.
Wismuth.

XVII. a) CaO, CO_2 (Kalkspath).
MgO, CO_2 (Talkspath).
$CaO, CO_2 + MgO, CO_2$ (Dolomit).
MnO, CO_2 (Manganspath).
ZnO, CO_2 (Zinkspath).
FeO, CO_2 (Spatheisenstein).
b) NaO, NO_5.
KO, NO_5.

XVIII. $Al_2\,O_3$.
$Fe_2\,O_3$.
$Cr_2\,O_3$.
$Ti_2\,O_3$.

Körper, welche in mehreren isomorphen Gruppen auftreten, sind dimorph oder trimorph.

Eine vollkommene Uebereinstimmung der Krystallformen chemisch verschiedener Stoffe kommt nur bei Körpern vor, welche im Tesseralsystem krystallisiren; der Isomorphismus ist hier jedoch von geringerem Interesse, weil es für die tesseralen Krystallreihen keine Dimensionsverschiedenheiten giebt. In den einaxigen Krystallsystemen, deren Reihen durch eine Dimensionsverschiedenheit der Grundform getrennt werden, kann nur dann ein Isomorphismus stattfinden, wenn die Grunddimensionen, wo nicht genau, so doch sehr nahe dasselbe Verhältniß zeigen;

man findet aber in diesen Systemen meist keine absolute Identität der Form mit völlig gleichen Dimensionen, sondern nur eine sehr große Aehnlichkeit der Form mit beinahe gleichen Dimensionen. Folgendes Beispiel wird dies erläutern; die Verbindungen der Gruppe XVII. krystallisiren in Rhomboëdern, deren Endkantenwinkel folgende sind:

Kalkspath	105° 5′
Dolomit	106° 15′
Manganspath . . .	106° 51′
Eisenspath . . .	107° 0′
Talkspath	107° 25′
Zinkspath	107° 40′

Eine vollkommene Identität der Form setzt aber nicht blos gleiche äußere Gestalt voraus, sondern auch eine vollkommen gleiche Anordnung der einzelnen Theilchen, welche sich unter anderem auch in der Spaltbarkeit der Krystalle (Richtung der Blätterdurchgänge) zu erkennen geben muß. Der Flußspath — Ca F — aber z. B., welcher mit Steinsalz Na Cl gleiche Krystallform besitzt, spaltet nach den Flächen des Octaëders, das Steinsalz aber nach den Flächen des Würfels. Ein Isomorphismus, wie bei Na Cl und K Cl findet demnach hier nicht statt, obgleich Krystallgestalt und stöchiometrische Constitution gleich sind.

Aus der gleichen Krystallform von Verbindungen läßt sich meist auf die Isomorphie gewisser ihrer Bestandtheile schließen. Sind die Verbindungen a + b + c und a + b + d isomorph, so ergiebt sich, daß c und d isomorph sind; auf diesem Wege ist es möglich, den Isomorphismus von Substanzen zu bestimmen, die man für sich nicht krystallisirt erhalten kann und man wird aus den angeführten Beispielen die Isomorphie gewisser Substanzen leicht abzuleiten im Stande sein. — Es giebt jedoch gleichgestaltete Verbindungen, deren chemische Natur so verschieden ist, daß sich die Gleichheit der Gestalt nicht durch die Ersetzung eines Bestandtheils durch einen anderen ableiten läßt; einige dieser Verbindungen sind folgende.

1. PbO, NO_3.
   PbO, NO_5.

2. a) CaO, CO_2 (Arragonit).
   KO, NO_5.
   b) NaO, NO_5.
   CaO, CO_2 (Kalkspath).

3. BaO, SO_3.
   KO, ClO_7.
   KO, Mn_2O_7.

4. $KO, Al_2O_3, 4 SiO_2$ (Leucit).
   $NaO, Al_2O_3, 4 SiO_2 + 2$ aq. (Analcim).

5. TiO (Anatas).
   $KO, 8 CaO, 15 SiO_2 + 16$ aq. (Apophyllit).

Man hat es versucht, in diesen Fällen die gleiche Gestalt und verschiedene chemische Constitution dennoch mit einander in Einklang zu bringen, ohne jedoch bis jetzt zu festen Ansichten gelangt zu sein *).

Die isomorphen Körper derselben Gruppe können, — und darin spricht sich die Isomorphie am deutlichsten aus, — einander theilweise ersetzen, d. h. es können mehrere derselben in demselben Krystallindividuum zugleich auftreten, ohne daß die Krystallform eine wesentlich andere wird, als wenn nur einer dieser

*) Graf Schaffgotsch in Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 335. Rickles im Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLV. S. 374.

Körper in der Verbindung vorhanden wäre. Beispiele dieser Art liefern viele künstlich dargestellte Verbindungen und viele Mineralien; in einem Alaunkrystall kann z. B. die Base KO durch NaO und NH_4 O, die Base K_2 O_3 durch Fe_2 O_3, Al_2 O_3, Cr_2 O_3 zugleich vertreten sein; in vielen Mineralien ist die Basis KO durch MgO, FeO, CaO, MgO zugleich vertreten. Aus diesem Grunde ist es möglich geworden, für solche Mineralien einfache, chemische Formeln aufzustellen. Isomorphe Salze können in mannichfaltigem Verhältniß mit einander krystallisiren; es stehen aber bei sehr verschiedenem Löslichkeitsverhältniß derselben, die Mengen, in welchen sie zusammentreten, im Verhältniß zur Löslichkeit *).

Eine andere bedeutungsvolle Erscheinung, auf die Kopp und Schröder **) zuerst hingewiesen haben, ist, daß isomorphe Substanzen ähnliche Atomvolume und gleiche Atomzahlen haben. Das Atomvolumen drückt die relative Größe verschiedenartiger Stoffe und die Atomzahl die relative Anzahl der Atome verschiedenartiger Substanzen in gleichem Raume aus; jenes wird durch die Quotienten der specif. Gew. in die Atomgewichte, diese durch die Quotienten des At. Gewichts in das specif. Gew. der Substanzen ausgedrückt. Man findet z. B. die Atomvolumina Eisen, Mn, Ni, Co, Cu = 44; Pt, Pa, Os, Jr. Rhodium = 57, Zink 58, Titan 56; Silber = 130, Gold = 128; Brom = 326, Chlor = 320, Jod = 320; MgO und CuO = 78; Sb O_3 = 331, AsO_3 = 332; Chromoxyd-Kali-Alaun = 3380, Thonerde-Kali-Alaun, Thonerde-Ammoniak-Alaun, Eisenoxyd-Ammoniak-Alaun = 3472. Dagegen giebt es eine nicht geringe Anzahl von isomorphen Substanzen, deren Atomvolume ganz und gar verschieden sind, wovon einige aber ein einfaches multiples Verhältniß zeigen (Natrium und Kalium verhalten sich wie 1 : 2; Arsenik zu Antimon wie 2 : 3; Natron und Silberoxyd wie 3 : 4). Kopp ***) hat es wahrscheinlich zu machen gesucht, daß die Differenzen in dem Endkantenwinkel der Rhomboëder der mit dem Kalkspath isomeren Carbonate, mit der verschiedenen Größe der Atomvolume dieser Spathe in einem einfachen Verhältniß stehen. — Es ergiebt sich aus diesen wenigen Angaben hier zur Genüge, daß eine durchgreifende oder allgemeine Regel hieraus nicht abzuleiten ist.

Scheerer ****) nennt die Körper, welche gleiche Krystallform, gleiches Atomvolumen und gleiche stöchiometrische Formel haben, im engeren Sinne isomorphe und bezeichnet die, welche gleiche Krystallgestalt und gleiche Formel, aber ungleiches Atomvolumen, oder bei gleicher Form und gleichem Atomvolumen ungleiche Formel besitzen, als homöomorph oder isomorph im weiteren Sinne.

Scheerer *****) hat ferner an zahlreichen Beispielen aus dem Mineralreich nachgewiesen, daß es noch eine andere Vertretung, als 1 Atom gegen

---

*) Nach Rammelsberg, Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXII. S. 70. Monheim, Verhandl. d. naturhist. Vereins d. preuß. Rheinlande. IX. Jahrgang.

**) Kopp, Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 133; Bd. LII. S. 243 u. 262. Schröder, Pogg. Ann. Bd. L. S. 552; Bd. LII. S. 269 u. 282.

***) Ann. d. Chem. T. XXXVI. p. 15.

****) Handwörterbuch d. Chemie. Bd. IV. S. 162.

*****) Handwörterbuch d. Chem. Bd. IV. S. 170.

1 Atom gebe, daß 1 Atom auch durch n Atome eines anderen Körpers oder n Atome durch m Atome vertreten werden können. Diese Art des Isomorphismus nennt Scheerer den polymeren Isomorphismus, der es übrigens nur zur Gleichheit und Aehnlichkeit der äußeren Krystallgestalt bringt, niemals zu einer sich bis in das einzelne Atom erstreckenden Form-Uebereinstimmung: es ist also Isomorphismus im weiteren Sinne oder Homöomorphismus. Er hat diese Vertretung zunächst für Wasser und Magnesia in der Weise geltend gemacht, daß 3 Atome Wasser mit 1 Atom Magnesia isomorph sind, und an zahlreichen Mineralspecies, in welchen Wasser und Magnesia (oder mit Magnesia isomorphe Basen) auftreten, nachgewiesen, daß ihre chemische Zusammensetzung eine solche Interpretation gestattet. Zunächst wurde dieselbe für Aspasiolith und Cordierit erwiesen; diese Mineralien haben gleiche Krystallform und man hat Krystalle gefunden, welche zum Theil aus Cordierit und Aspasiolith bestehen; beide enthalten gleiche Mengen Thonerde und Kieselsäure, der Aspasiolith aber enthält eine geringere Menge Magnesia und eine größere Menge Wasser als Cordierit und aus dieser Differenz lassen sich in dem ersteren 3 At. Wasser als Aequivalent von 1 At. Magnesia ansehen. Auch erwies Scheerer die, schon von Bonsdorff ausgesprochene, isomorphe Vertretung von 3 At. $Si\,O_3$ durch 2 At. $Al_2\,O_3$. Vermöge der Annahme einer solchen Vertretung läßt sich für viele Mineralien eine einfache stöchiometrische Formel aufstellen, deren Zusammensetzung sonst nur durch sehr verwickelte Formeln ausgedrückt werden kann *). — Gegen diese Annahmen Scheerer's sind von verschiedenen Seiten Bedenken erhoben worden, wie von Haidinger, Naumann **), Rammelsberg ***), Bischof, welche namentlich darin übereinstimmen, daß sie den Wassergehalt des Aspasioliths nicht für ursprünglich halten, sondern in diesem Mineral Afterkrystalle nach Cordierit erblicken. In Bezug auf Thonerde und Kieselerde wird nach Naumann der polymere Isomorphismus auf den gewöhnlichen reducirt, sobald man in der Kieselerde nur 2 At. Sauerstoff annimmt; es möchte daher, nach demselben, die gegenseitige Vertretung jener beiden Erden wohl eher als ein Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht von der Zusammensetzung der Kieselerde, denn als ein Beweis für die Wirklichkeit des polymeren Isomorphismus zu betrachten sein. — Die erwähnten Bedenken hat Scheerer (in Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLIII. S. 10: auch Poggend. Ann. Bd. LXX. S. 411, 545; Bd. LXXI. S. 285, 445; Bd. LXXXIV. S. 321) als unbegründet dargestellt und die Existenz des polymeren Isomorphismus an anderen Beispielen, auch aus der organischen Chemie, zum höchsten Grade der Wahrscheinlichkeit erhoben. H. Rt.

Isothermen (v. d. griech. ἴσος, gleich und ϑερμός, warm), Isothermische Linien sind Linien (Curven), welche Orte gleicher mittlerer jährlicher Temperatur verbinden.

A. v. Humboldt ****) war der Erste, welcher die Punkte der Erdober-

*) Handwörterbuch d. Chem. Bd. IV. S. 180.
**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XL. S. 1.
***) Handwörterbuch d. Mineralogie, 3. Suppl. Bd. VII. S. 20. 109.
****) Sur les lignes isothermes in den Mémoires de physique et de chimie de la Société d'Arcueil. T. III. Paris 1817. p. 462—602; Humboldt's kleinere Schriften, Stuttgart und Tübingen 1853. S. 206—314.

fläche mit einander durch Linien verband, an welchen die mittleren Temperaturen des Jahres übereinstimmen, und für diese Linien den angegebenen Namen wählte. Es war dies der erste Schritt in die Wärmevertheilung im Luftkreise unseres Planeten einigermaßen Klarheit zu bringen, und angeregt hierdurch ist durch die vereinten Bemühungen vieler Physiker, namentlich durch Dove, diese Hauptgrundlage der vergleichenden Klimatologie schon jetzt zu einer bedeutenden Vollkommenheit gediehen.

Bei allem Beweglichen und Veränderlichen im Raume, sagt A. v. Humboldt, sind mittlere Zahlenwerthe der letzte Zweck, ja der Ausdruck physischer Gesetze; sie zeigen uns das Stetige in dem Wechsel und in der Flucht der Erscheinungen; die Zahlen sind die Mächte des Kosmos. Wenn dies irgend wo Geltung hat, so namentlich bei der Ermittelung der Temperatur der Erdoberfläche. Es stimmt diese im Allgemeinen mit derjenigen der zunächst über ihr befindlichen Luft überein; denn gesetzt auch, daß ein Unterschied stattfände, so würde sich derselbe alsbald durch wechselseitige Mittheilung ausgleichen. Man bestimmt daher die Temperatur der Erdoberfläche gewöhnlich nach der, welche ein über ihr im Schatten befindliches Thermometer angiebt. Ein bedeutender Unterschied findet indessen statt, wenn die Erde gleichzeitig mit der sie berührenden Luft dem directen Einflusse der Sonnenstrahlen ausgesetzt ist; denn in diesem Falle erhitzt sich bekanntlich der dichtere Körper (die Erde) bei weitem stärker, als der dünnere (die Luft). Daher kommt die außerordentliche Hitze des Sandes in Wüsten und sandigen Gegenden, wenn die Sonne ihn unmittelbar bescheint, welche weit größer als die der umgebenden Luft ist.

Die mittlere Temperatur eines Ortes bestimmte man früher im Allgemeinen so, daß man die höchste und niedrigste Temperatur im Laufe eines Jahres suchte, beide addirte und durch 2 dividirte. Dieses Verfahren ist unsicher, weil dabei auf Extreme Rücksicht genommen wird, welche am weitesten und unregelmäßig entfernt von derjenigen Temperatur liegen, welche wirklich die mittlere ist. Jetzt nennt man die mittlere Temperatur des Jahres das arithmetische Mittel aus den mittleren Temperaturen der 12 Monate; die mittlere Temperatur eines Monates aber ist das arithmetische Mittel aus den mittleren Temperaturen aller Tage des Monats, und die mittlere Temperatur eines Tages endlich ist die Summe der Resultate einer Anzahl von im Laufe eines Tages gemachten Beobachtungen, dividirt durch die Anzahl dieser Beobachtungen. Es kommt also bei Ermittelung der mittleren Jahrestemperatur zunächst auf die Ermittelung der mittleren Tagestemperaturen an.

Wollte man die mittleren Tagestemperaturen für einen Ort genau gewinnen, so müßte man in möglichst kurzen Zwischenräumen, etwa von Stunde zu Stunde, ein unter den erforderlichen Vorsichtsmaßregeln aufgestelltes Thermometer (s. Art. Thermometer) beobachten. Es ist an sich klar, daß eine einzelne Person Beobachtungen dieser Art längere Zeit anzustellen außer Stande ist; es würden sich mithin mehrere Personen für einen solchen Zweck vereinigen müssen. Ungeachtet der Umständlichkeit darartiger Beobachtungen sind sie dennoch ausgeführt. Chiminello *) lieferte zuerst eine Beobachtungsreihe von Padua, welche

*) Saggi scientifici di Padova. Pad. 1786. T. I. p. 195, 208. Toaldo Saggio meteorol. Ediz. sec. Pad. 1781. p. 11. Ephemerides Soc. Meteorol. Palat. 1789. p. 354.

16 Monate umfaßt; noch größeren Umfang haben die auf Brewster's Veranlassung auf Fort Leith bei Edinburg von den Wache haltenden Officieren angestellten *); eben so besitzen wir solche von Capitän Roß zu Boothia vom October 1829 bis März 1832 **); von einer russischen Expedition auf Novaja Semlja in der karischen Pforte und zu Matotschkin-Schar, beide von Bär in Tabellen gebracht ***); von Kupffer in Petersburg aus den Jahren 1831 u. 1832 ****); besonders reichhaltig ist aber das Material geworden seit Stiftung der magnetischen Observatorien, indem auf diesen die meteorologischen Instrumente überhaupt sorgfältig beobachtet zu werden pflegen. So giebt Kupffer z. B. den Stand des Thermometers für Petersburg nach Beobachtungen von Stunde zu Stunde, Tag und Nacht, angestellt während eines sechsjährigen Zeitraums seit dem Jahre 1841 *****). Folgende Tabelle enthält diese zuletzt erwähnten Ergebnisse nach Petersburger Zeit:

*) Edinb. Journ. of Science. No. IX. Junius 1826. p. 18.

**) Dove, Repertorium der Physik. Bd. III. S. 352; vergl. überhaupt S. 341 ff.

***) Bulletin scientifique de l'Acad. des Sc. de St. Petersbourg 1837. T. II. No. 20. Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 336.

****) Pogg. Ann. Bd. XXX. S. 324.

*****) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 357; aus: Bullet. de la Classe phys. math. de l'acad. de St. Petersbourg. T. VII.

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Septbr.	Octbr.	Novbr.	Decbr.	Mittel.
Mitternacht	— 5°,6	— 7°,3	— 4°,9	— 0°,8	+ 5°,1	+ 9°,6	+ 11°,7	+ 11°,9	+ 7°,1	+ 2°,9	— 1°,6	— 3°,0	+ 2°,1
1	— 5,6	— 7,3	— 5,2	— 1,0	+ 4,7	+ 9,3	+ 11,4	+ 11,5	+ 6,9	+ 2,8	— 1,6	— 3,0	+ 1,9
2	— 5,6	— 7,4	— 5,4	— 1,2	+ 4,5	+ 9,0	+ 11,2	+ 11,3	+ 6,7	+ 2,7	— 1,6	— 3,1	+ 1,7
3	— 5,7	— 7,4	— 5,6	— 1,4	+ 4,3	+ 8,7	+ 11,0	+ 11,0	+ 6,5	+ 2,6	— 1,6	— 3,1	+ 1,6
4	— 5,7	— 7,5	— 5,8	— 1,6	+ 4,2	+ 8,9	+ 10,9	+ 10,8	+ 6,4	+ 2,6	— 1,7	— 3,2	+ 1,5
5	— 5,8	— 7,6	— 5,9	— 1,6	+ 4,6	+ 9,3	+ 11,2	+ 10,9	+ 6,3	+ 2,5	— 1,8	— 3,2	+ 1,6
6	— 5,9	— 7,6	— 6,0	— 1,4	+ 5,2	+ 10,0	+ 11,7	+ 11,3	+ 6,3	+ 2,5	— 1,8	— 3,2	+ 1,8
7	— 5,9	— 7,7	— 5,9	— 0,8	+ 6,0	+ 10,7	+ 12,5	+ 11,9	+ 6,6	+ 2,5	— 1,8	— 3,1	+ 2,1
8	— 5,9	— 7,6	— 5,6	— 0,2	+ 6,8	+ 11,4	+ 13,1	+ 12,8	+ 7,2	+ 2,7	— 1,8	— 3,1	+ 2,5
9	— 5,9	— 7,3	— 4,9	+ 0,5	+ 7,6	+ 12,1	+ 13,8	+ 13,6	+ 8,0	+ 3,0	— 1,6	— 3,1	+ 3,0
10	— 5,7	— 7,0	— 4,3	+ 1,3	+ 8,3	+ 12,7	+ 14,4	+ 14,3	+ 8,7	+ 3,5	— 1,5	— 3,0	+ 3,5
11	— 5,5	— 6,6	— 3,6	+ 1,9	+ 9,0	+ 13,2	+ 14,9	+ 15,0	+ 9,3	+ 3,9	— 1,3	— 2,8	+ 4,0
Mittag	— 5,3	— 6,2	— 3,0	+ 2,4	+ 9,4	+ 13,7	+ 15,2	+ 15,5	+ 9,8	+ 4,3	— 1,1	— 2,7	+ 4,3
1	— 5,1	— 6,0	— 2,6	+ 2,7	+ 9,6	+ 13,9	+ 15,5	+ 15,9	+ 10,4	+ 4,6	— 0,9	— 2,5	+ 4,7
2	— 5,0	— 5,9	— 2,3	+ 2,9	+ 9,8	+ 14,1	+ 15,6	+ 16,2	+ 10,6	+ 4,8	— 0,6	— 2,5	+ 4,8
3	— 5,1	— 5,9	— 2,2	+ 3,0	+ 10,0	+ 14,3	+ 15,7	+ 16,3	+ 10,6	+ 4,6	— 0,8	— 2,5	+ 4,8
4	— 5,3	— 6,0	— 2,2	+ 3,2	+ 10,2	+ 14,6	+ 15,9	+ 16,5	+ 10,6	+ 4,4	— 1,2	— 2,6	+ 4,8
5	— 5,4	— 6,4	— 2,5	+ 3,2	+ 10,0	+ 14,4	+ 15,8	+ 16,4	+ 10,2	+ 4,1	— 1,3	— 2,7	+ 4,6
6	— 5,4	— 6,7	— 3,0	+ 2,3	+ 9,3	+ 13,6	+ 15,1	+ 15,4	+ 9,5	+ 3,8	— 1,4	— 2,8	+ 4,1
7	— 5,5	— 6,8	— 3,5	+ 1,5	+ 8,3	+ 12,7	+ 14,3	+ 14,5	+ 8,7	+ 3,6	— 1,5	— 2,8	+ 3,6
8	— 5,5	— 6,9	— 3,8	+ 0,8	+ 7,4	+ 11,9	+ 13,6	+ 13,7	+ 8,2	+ 3,4	— 1,5	— 2,9	+ 3,2
9	— 5,5	— 7,0	— 4,1	+ 0,3	+ 6,6	+ 11,1	+ 12,9	+ 13,0	+ 7,9	+ 3,3	— 1,6	— 2,9	+ 2,8
10	— 5,5	— 7,1	— 4,4	— 0,1	+ 6,1	+ 10,5	+ 12,4	+ 12,6	+ 7,6	+ 3,1	— 1,6	— 2,9	+ 2,6
11	— 5,5	— 7,2	— 4,7	— 0,5	+ 5,5	+ 10,0	+ 12,0	+ 12,2	+ 7,3	+ 3,0	— 1,6	— 2,9	+ 2,3
Mittel	— 5,5	— 6,9	— 4,2	+ 0,6	+ 7,2	+ 11,7	+ 13,4	+ 13,5	+ 8,2	+ 3,4	— 1,4	— 3,0	+ 3,08

Eine Uebersicht von dem mittleren Gange der täglichen Wärme zu Padua und im Fort Leith für alle Monate und Tageszeiten während des ganzen Jahres geben folgende beide Tabellen:

IV.

Mittlerer Gang der täglichen Wärme zu Padua (n. Br. 45° 24′).

Grade nach Celsius.

Stunde	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	Novbr.	Decbr.	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
Mitternacht	3°,25	4°,28	6°,83	11°,97	17°,44	19°,31	23°,02	20°,00	16°,68	13°,94	6°,56	2°,97	3°,50	12°,08	20°,78	12°,39	12°,19
1	2,98	4,18	6,62	11,49	16,93	19,17	22,49	19,95	16,39	13,85	6,43	2,80	3,32	11,68	20,54	12,22	11,94
2	2,98	3,88	6,23	11,17	16,60	18,93	22,06	19,42	16,07	13,63	6,28	2,64	3,17	11,33	20,14	11,99	11,66
3	2,76	3,68	5,96	10,95	16,22	18,58	21,65	18,98	15,76	13,42	6,15	2,61	3,02	11,04	19,74	11,78	11,39
4	2,72	3,48	5,63	10,57	16,05	18,54	21,34	18,49	15,46	13,18	6,04	2,53	2,91	10,75	19,46	11,56	11,17
5	2,38	3,25	5,37	10,20	16,26	18,94	21,89	18,49	15,05	12,94	5,95	2,44	2,69	10,61	19,77	11,31	11,10
6	2,30	3,06	5,16	10,25	17,52	20,40	23,47	19,13	15,20	13,00	5,87	2,39	2,58	10,98	21,00	11,36	11,48
7	2,15	2,91	5,40	10,76	19,14	21,83	25,36	20,52	16,15	13,21	5,75	2,30	2,48	11,77	22,57	11,70	12,12
8	2,37	3,12	6,91	11,74	20,26	22,74	26,37	22,06	17,39	13,91	6,52	2,59	2,69	12,97	23,72	12,61	12,99
9	2,84	3,86	6,97	12,80	21,31	23,48	28,10	24,85	19,11	14,69	7,70	3,43	3,38	13,69	25,48	13,83	14,09
10	3,58	4,99	8,77	13,56	22,09	24,00	28,92	25,17	19,67	15,56	8,74	4,16	4,24	14,80	26,03	14,66	14,93
11	4,43	5,67	8,82	14,09	22,85	24,72	29,52	25,76	20,33	16,16	9,62	5,15	5,08	15,25	26,67	15,37	15,59
Mittag	4,94	6,44	9,38	14,62	23,39	25,08	30,01	26,50	21,06	16,68	10,25	5,71	5,70	15,80	27,20	16,00	16,17
1	5,44	6,70	9,66	15,13	23,57	25,19	30,47	26,97	21,56	17,10	10,75	6,21	6,12	16,12	27,54	16,47	16,56
2	5,60	6,91	9,91	15,43	23,65	25,21	30,73	27,45	21,93	17,43	10,92	6,41	6,31	16,33	27,79	16,76	16,79
3	5,52	6,95	10,10	15,70	23,65	25,17	30,48	27,55	21,97	17,47	10,50	5,94	6,14	16,48	27,73	16,65	16,75
4	5,19	6,56	9,87	15,65	23,31	24,68	29,59	26,83	21,35	17,34	9,64	5,27	5,67	16,28	27,03	16,11	16,27
5	4,80	6,11	9,47	15,50	22,57	23,93	29,11	25,90	20,38	16,23	8,64	4,76	5,22	15,85	26,31	15,08	15,61
6	4,45	5,88	9,01	14,92	21,47	23,18	27,82	24,46	19,42	15,60	7,92	4,25	4,86	15,13	25,15	14,31	14,86
7	4,11	5,67	8,64	14,43	20,29	22,08	26,64	23,19	18,60	15,09	7,50	4,03	4,60	14,45	23,97	13,76	14,19
8	3,80	5,42	8,27	13,62	20,14	21,45	24,80	22,17	18,50	14,86	7,32	3,79	4,34	14,01	22,81	13,56	13,68
9	3,65	5,07	7,86	13,17	18,58	20,21	24,14	21,53	18,09	14,59	7,12	3,52	4,06	13,20	21,96	13,27	13,12
10	3,49	4,78	7,43	12,69	18,17	19,78	23,97	21,09	17,65	14,27	6,83	3,26	3,84	12,76	21,61	12,92	12,78
11	3,35	4,50	7,13	12,28	17,78	19,61	23,39	20,57	17,33	14,07	6,66	3,10	3,65	12,40	21,19	12,69	12,48
Mittel	3,71	4,89	7,73	13,03	19,97	21,93	26,06	22,79	18,38	14,92	7,73	3,84	4,15	13,57	23,59	13,68	13,75

Mittlerer Gang der täglichen Wärme im Fort Leith (n. Br. 55° 59').

Grade nach Celsius.

Stunde	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	Novbr.	Decbr.	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
Mitternacht	4°,79	4°,18	4°,04	6°,34	8°,62	11°,77	13°,79	13°,06	12°,20	8°,71	4°,28	3°,93	4°,30	6°,35	12°,87	8°,42	8°,00
1	4,70	4,26	3,86	6,16	8,22	11,44	13,43	12,96	12,13	8,93	4,37	3,86	4,30	6,08	12,61	8,47	7,85
2	4,66	4,31	3,74	5,65	7,99	11,25	13,33	12,82	12,00	8,88	4,22	3,90	4,29	5,80	12,46	8,36	7,74
3	4,62	4,32	3,50	5,29	7,71	11,18	13,11	12,66	11,72	8,82	4,30	3,92	4,28	5,50	12,31	8,28	7,60
4	4,48	4,22	3,40	4,88	7,46	11,05	12,86	12,54	11,51	8,80	4,26	3,87	4,18	5,21	12,15	8,19	7,47
5	4,41	4,09	3,31	4,78	7,33	11,07	13,15	12,57	11,44	8,64	4,31	3,84	4,11	5,20	12,26	8,13	7,44
6	4,41	4,02	3,29	4,85	7,96	11,57	13,73	12,79	11,59	8,41	4,36	3,91	4,12	5,33	12,70	8,12	7,58
7	4,46	4,05	3,47	5,90	8,44	12,01	14,38	13,35	12,02	8,64	4,48	3,89	4,13	5,93	13,24	8,38	7,93
8	4,51	4,04	3,84	6,62	9,14	12,65	15,06	14,00	12,73	9,00	4,50	3,96	4,16	6,53	13,90	8,74	8,33
9	4,66	4,31	4,39	7,98	9,85	13,36	15,81	14,88	13,62	9,37	4,76	4,09	4,35	7,39	14,70	9,25	8,92
10	4,91	4,78	4,74	8,94	10,50	13,98	16,46	15,30	14,15	10,00	5,26	4,27	4,65	8,06	15,24	9,80	9,45
11	5,19	5,28	5,51	9,50	11,02	14,53	16,95	15,72	14,77	10,49	5,81	4,73	5,06	8,67	15,73	10,36	9,97
Mittag	5,57	5,68	6,29	10,01	11,43	14,81	17,69	16,26	15,28	10,83	6,16	5,00	5,41	9,21	16,25	10,76	10,43
1	5,79	5,99	6,49	10,25	11,77	15,01	17,74	16,51	15,72	11,09	6,35	5,10	5,62	9,50	16,65	11,05	10,67
2	5,88	5,98	6,67	10,45	12,01	15,39	17,96	16,62	15,91	11,12	6,80	5,12	5,66	9,71	16,83	11,18	10,82
3	5,89	6,00	6,71	10,66	12,05	15,68	18,13	16,62	15,85	10,96	6,53	4,88	5,60	9,80	16,86	11,11	10,85
4	5,66	5,70	6,69	10,49	12,23	15,45	18,17	16,75	15,52	10,63	6,01	4,72	5,36	9,80	16,81	10,72	10,69
5	5,38	5,27	6,42	10,19	12,15	15,32	18,24	16,69	15,51	10,27	5,64	4,54	5,06	9,38	16,81	10,47	10,48
6	5,25	5,00	6,03	9,96	11,86	15,08	18,15	16,52	14,81	9,86	5,44	4,41	4,88	9,28	16,58	10,04	10,16
7	5,05	4,79	5,49	9,19	11,36	14,66	17,69	15,54	14,08	9,32	5,21	4,16	4,66	8,68	15,96	9,60	9,75
8	4,93	4,57	5,09	8,28	10,56	13,70	16,42	14,83	13,63	9,22	5,04	4,10	4,53	7,97	14,98	9,30	9,24
9	4,88	4,40	4,70	7,62	9,73	12,98	15,46	14,27	13,22	9,14	4,90	4,06	4,44	7,35	14,23	9,09	8,79
10	4,90	4,25	4,41	7,23	9,44	12,21	14,75	13,72	12,85	8,90	4,63	4,03	4,40	7,02	13,56	8,80	8,49
11	4,83	4,19	4,12	6,62	8,97	12,06	14,30	13,36	12,62	8,65	4,61	3,96	4,32	6,57	13,24	8,56	8,22
Mittel	5,00	4,74	4,84	7,83	9,91	13,26	15,70	14,60	13,54	9,54	5,07	4,26	4,66	7,56	14,52	9,38	9,04

Solche Beobachtungsreihen waren wünschenswerth, um durch sie zu einfacheren Beobachtungsmethoden zu gelangen. Auch die auf analytischem Wege von verschiedenen Mathematikern versuchten Lösungen des vorliegenden Problems *) mußten einer auf solche Beobachtungsreihen sich stützenden Probe unterworfen werden. In Betreff dieser theoretischen Resultate, bei denen der Gang der täglichen Temperatur als eine Function der Erwärmung durch die Sonnenstrahlen betrachtet wurde, während für die Nacht der ununterbrochen stattfindende Wärmeverlust durch die Ausstrahlung der Erdoberfläche maßgebend wird, sei nur bemerkt, daß sie zu keinem befriedigenden Resultate geführt haben. Von den einfacheren Beobachtungsmethoden verdienen folgende Beachtung:

1) Man nehme das Mittel aus drei Beobachtungen, von denen die erste beim Aufgange der Sonne, die zweite um 2 Uhr Nachmittags, die dritte bei Untergang der Sonne gemacht worden.

2) Man nehme das Mittel aus dem Maximum und dem Minimum des Thermometerstandes. Dieser Methode, auf welche A. v. Humboldt **) zuerst aufmerksam gemacht hat, bedient man sich auf dem Pariser Observatorium. Ueber den Thermometrographen, den man bei dieser Methode anwendet, verweisen wir auf den Art. Thermometer. Etwa zu den Zeiten zu beobachten, an welchen das Maximum und Minimum der Temperatur zu erwarten ist, kann leicht zu Unrichtigkeiten Veranlassung geben, eben so wie ein Versuch die mittlere Tagestemperatur direct zu beobachten in den Zeiten, zu welchen diese nach Vorausbestimmung ***) eintreten müßte, was allerdings täglich zweimal der Fall sein wird. Hällström ****) und Kämtz *****) haben versucht aus den Angaben des Maximum und Minimum, mit Einführung eines für die einzelnen Monate veränderlichen Coefficienten, die mittlere Temperatur zu berechnen nach der Formel

$$T = m + v.(M - m),$$

wo m das Minimum, M das Maximum und v den Coefficienten der verschiedenen Monate bezeichnet.

3) Man beobachte das Thermometer in mehreren gleichnamigen Stunden, etwa um 4 Uhr und um 10 Uhr Morgens und um 4 Uhr Nachmittags und 10 Uhr Abends. Nach Brewster erhält man hierdurch das Mittel bis auf $^1/_{10}$ Grad genau.

4) Die Beobachtungsstunden 7 Uhr Morgens, des Mittags und um 10 Uhr Abends liefern ebenfalls ein brauchbares Resultat.

5) An vielen Punkten der nordamerikanischen Freistaaten wird um 7, 2 und 9 Uhr beobachtet, und auch Dove hält diese Stunden für die geeignetsten †). Die Mannheimer meteorologische Gesellschaft hat diese Stunden in Vorschlag gebracht.

*) Vergl. Kämtz, Meteorologie. Bd. I. S. 60.
**) Kleinere Schriften. Bd. I. S. 231. Mém. d'Arcueil. T. III.
***) Dove's Repert. Bd. III. S. 379.
****) Pogg. Ann. Bd. IV. S. 373.
*****) Meteorol. Bd. I. S. 97.
†) Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 327.

6) Andere Combinationen sind:

$$\frac{VII + II + 2 \,.\, IX}{4},\quad \frac{VI + II + X}{3},\quad \frac{VIII + IX + VIII + IX}{4},$$

$$\frac{VI + III + IX}{3} \text{ u. s. w.*)}.$$

7) Die Unbequemlichkeit der frühen Morgenstunden und späten Abendstunden hat neuerdings H. Schlagintweit **) veranlaßt, die Ableitung des Tagesmittels aus dem Maximum, Minimum und der Beobachtung um 9 Uhr Vormittags zu versuchen. Er gelangt zu der Formel:

$$T = 0{,}4\ M + 0{,}5\ m + 0{,}11\ .\ IX,$$

wo M das Maximum, m das Minimum und IX die Beobachtung um 9 Uhr Vormittags bezeichnet. Zugleich stellt sich heraus, daß die Combination $\frac{VI + II + X}{3}$ sich vor den anderen durch günstige Resultate auszeichnet ***).

Aus den so gewonnenen Tagesmitteln würde man nun die Monats- und aus diesen wiederum die Jahresmittel zu berechnen haben. Indessen gelangt man ziemlich zu demselben Resultate, wenn man nach v. Humboldt ****) nur die mittlere Temperatur des Monats April oder October sucht. Die des ersteren ist allerdings etwas zu klein, und die des letzteren etwas zu groß, wie Kämtz nachgewiesen hat; doch ist die Abweichung von dem wahren Jahresmittel nicht sehr bedeutend. Kann man die mittleren Temperaturen beider Monate erhalten, so giebt das Mittel aus beiden eine vollständig ausreichende Annäherung an das wahre Jahresmittel. Folgende Tabelle nach v. Humboldt wird eine Vorstellung geben von der Genauigkeit dieser Methode. Die Mittel aus beiden Monaten sind von dem Verf. dieses Artikels hinzugefügt.

---

*) Die erste Combination rührt von Kämtz her; nach der zweiten werden die unter Dove's Leitung stehenden Beobachtungen in Preußen berechnet; die beiden letzten werden zur Ableitung des Mittels aus den Beobachtungen von St. Bernhard benutzt.

**) Pogg. Ann. Bd. XCII. S. 467; aus: Neue Untersuchungen über die physikalische Geographie und die Geologie der Alpen von A. und H. Schlagintweit, Leipzig 1851.

***) Mahlmann in Dove's Repertorium der Physik Bd. IV. S. 8. liefert 3 Tabellen, welche die Abweichungen von dem wahren täglichen Mittel im jährlichen Durchschnitt angeben und zwar bei Beobachtung des Thermometers nur zu einer, oder zu zwei, oder zu drei und vier Stunden; eben so hat er auf S. 12 bis 19 Tabellen der Abweichungen der einzelnen Stunden für sämmtliche Jahreszeiten berechnet und eben solche für die 2 oder 3 Combinationsstunden folgen lassen. Die letzteren Tabellen beziehen sich auf die Beobachtungsstationen: Boothia Felix, Leith, Salzuflen, Plymouth, Padua, Madras und den stillen Ocean; bei den ersteren findet sich außerdem noch theilweise: Novaja-Semlja, Petersburg, Apenrade und Mühlhausen.

****) Mém. d'Arcueil. T. III. p. 554. Kleinere Schriften. Bd. I. S. 279.

Namen der Orte	Mittlere Temperatur des Jahres	des October	des April	aus April und October
Cairo	22°,4	22°,4	25°,5	23°,95
Algier	21,0	22,3	17,0	19,65
Natchez	18,9	20,2	19,1	19,65
Rom	15,8	16,7	13,0	14,85
Mailand	13,2	14,5	13,1	13,80
Cincinnati	12,0	12,7	13,8	13,25
Philadelphia	11,9	12,2	12,0	12,10
New-York	12,1	12,5	9,5	11,00
Peking	12,6	13,0	13,9	13,45
Buda	10,6	11,3	9,5	10,40
London	11,0	11,3	9,9	10,60
Paris	10,6	10,7	9,0	9,85
Genf	9,6	9,6	7,6	8,6
Dublin	9,2	9,3	7,4	8,35
Edinburg	8,8	9,0	8,3	8,65
Göttingen	8,3	8,4	6,9	7,65
Franecker	11,3	12,7	10,0	11,35
Kopenhagen	7,6	9,3	5,0	7,15
Stockholm	5,7	5,8	3,6	4,70
Christiania	5,9	4,0	5,9	4,95
Upsala	5,4	6,3	4,3	5,3
Quebeck	5,5	6,0	4,2	5,1
Petersburg	3,8	3,9	2,8	3,35
Abo	5,2	5,0	4,9	4,95
Drontheim	4,4	4,0	1,3	2,65
Ulea	0,6	3,3	1,2	2,25
Umea	0,7	3,2	1,1	2,15
Nordkap	0,0	0,0	— 1,1	— 0,55
Enontekis	— 2,8	— 2,5	— 3,0	— 2,75
Nain	— 3,1	+ 0,6	— 2,5	— 0,95

Eine zweite Methode besteht darin, das Mittel der entsprechenden Temperaturen einer einzigen Stunde des Jahres zu nehmen, für die Breite von Paris 9 Uhr Morgens. Dies zu veranschaulichen diene folgende Tabelle.

Vergleich der wahren Mittel und derer, die sich aus den Beobachtungen um 9 Uhr Morgens für das Pariser Observatorium im Jahre 1829 ergaben.

Monate	Mittlere Temperatur	
	der Monate	um 9 Uhr Morgens
Januar	— 2°,0	— 2°,6
Februar . . .	+ 2,7	+ 2,6
März	+ 5,7	+ 5,6
April	+ 9,8	+ 11,1
Mai	+ 14,9	+ 16,4
Juni	+ 17,1	+ 19,1
Juli	+ 18,6	+ 19,3
August	+ 17,0	+ 18,3
September . . .	+ 13,7	+ 15,0
October . . .	+ 10,0	+ 9,9
November . . .	+ 4,7	+ 4,2
December . . .	— 3,5	— 4,1
Mittel	+ 9,1	+ 9,6

Die mittlere Temperatur, welche die directe Methode giebt, ist 9°,1; die durch den Monat April gegebene betrüge 9°,8; die durch den Monat October 10°,0 und endlich die aus den Mitteln der Beobachtung um 9 Uhr Morgens 9°,6, welche sich von dem wahren Mittel nur um ½ Grad entfernt. Während aber die Beobachtungen um 9 Uhr ein richtiges Jahresmittel geben, entsprechen die aus ihnen abgeleiteten Monatsmittel den wahren nicht, indem sie für die warmen Monate zu hoch, für die kalten zu niedrig sind.

Die erstere Methode ist besonders für Reisende wichtig, weil diese selten Gelegenheit haben, an jedem Orte eine für die Bestimmung der mittleren Jahrestemperatur hinlängliche Anzahl von Beobachtungen zu sammeln. Wir liefern daher noch einige diese Methode bestätigende Resultate.

Namen der Orte	Mittlere Temperatur			
	Jahr	October	April	aus April und October
Padua	13°,7	14°,9	13°,0	13°,95
Leith	9,0	9,5	7,8	8,65
Berlin	9,2	9,8	9,7	9,75

Am glücklichsten hat Kämtz *) die Aufgabe gelöst, aus Beobachtungen,

*) Meteorologie. Bd. I. S. 131 ff.

welche nur über einen oder einige Monate sich erstrecken, die mittlere Jahrestemperatur zu ermitteln; es muß aber an dieser Stelle diese Hinweisung genügen.

Wenn man auch an einem Orte einen Monat lang, z. B. im October, täglich von Stunde zu Stunde Thermometerbeobachtungen macht und aus diesen das Monatsmittel berechnet, so wird dieses Mittel doch nicht übereinstimmen mit demjenigen, welches man für denselben Ort und für denselben Monat in einem anderen Jahre in gleicher Weise ermittelt hat. Eben so verhält es sich mit den Jahresmitteln, indem diese in auf einander folgenden Jahren ebenfalls nicht übereinstimmen, selbst wenn ihnen die ausgedehntesten Beobachtungen zu Grunde lägen.

Erst Perioden, welche gegen 10 Jahre umfassen, stimmen in den Monatsmitteln und Jahresmitteln so überein, daß die Differenz als Null betrachtet werden kann. Dies arithmetische Mittel aus einer größeren Anzahl von Jahresmitteln liefert erst die mittlere Temperatur eines Ortes. Die Jahresmittel differiren übrigens höchstens um 2 Grade unter einander, während in den Monatsmitteln diese Differenz bis auf 9 Grad steigt.

Um die Jahresmittel zu gewinnen, auf deren Kenntniß die Isothermen beruhen, scheint hiernach ein kaum aufzubringendes Opfer an Zeit und Kraft erforderlich, wenn man bedenkt, daß die Bestimmung dieses Mittels einen so großen Zeitraum erheischt und überdies dieselbe von möglichst vielen Punkten der Erdoberfläche wünschenswerth ist. Indessen ist es Dove gelungen, indem er davon ausging, daß die Abweichungen einzelner Jahre nicht ganz local auftreten könnten, einen Weg zu ermitteln, auf welchem die Beobachtungen, welche nur wenige Jahre umfassen, sich so verbessern lassen, daß sie für Mittel längerer Zeiträume gelten können.

In vier Abhandlungen *) wurde für einen Zeitraum von 115 Jahren der thermische Witterungsgang bestimmt. Durch Ermittelung der Abweichungen der Monate der einzelnen Jahre von diesen vieljährigen Mitteln ergab sich, daß alle erheblichen Abweichungen nicht vereinzelt auftreten. Wenn man nun den in allen einzelnen Jahren an bestimmten Stellen vorwaltend gewesenen Witterungscharakter kennt, so wird es möglich die Beobachtungen weniger Jahrgänge eines bestimmten Ortes zu verbessern, indem man aus den Abweichungen einiger Normalstationen, für welche sehr lange Reihen vorhanden sind, den quantitativen Werth der anzubringenden Verbesserungen ermitteln kann. Diese Untersuchung hat Dove für mehrere Stationen, welche für verschiedene Klimate charakteristisch sind, durchgeführt und hierdurch die Verbesserungen berechnet, welche an der Mitteltemperatur irgend einer Tagesstunde der einzelnen Monate und eben so des ganzen Jahres anzubringen sind. Um dies zu veranschaulichen folgen, hier die Verbesserungen in Beziehung auf das Jahresmittel für drei Normalstationen **).

*) Ueber die nicht periodischen Veränderungen der Temperaturvertheilung auf der Oberfläche der Erde, in Abhandl. der Akadem. der Wissensch. zu Berlin, Jahrg. 1838, 1839, 1842 und 1845; auch als besonderes Werk erschienen bei Reimer. Vergl. Dove, Monatsisothermen. Berlin 1849. S. 5; auch Repertorium. Bd. III. S. 391 ff.

**) Abhandl. der Akad. 1846.

	Rio Janeiro	Halle	Nertschinsk
Mitternacht	0°,26	2°,40	2°,42
1	0,69	2,74	2,85
2	1,12	2,94	3,36
3	1,50	2,92	3,80
4	1,70	2,71	4,07
5	1,71	2,27	4,00
6	1,55	1,71	3,40
7	1,24	0,94	2,31
8	0,87	0,02	0,82
9	0,47	— 0,95	— 0,80
10	0,07	— 1,82	— 2,25
11	— 0,34	— 2,57	— 3,46
Mittag	— 0,75	— 3,06	— 4,17
1	— 1,12	— 3,29	— 4,42
2	— 1,40	— 3,20	— 4,35
3	— 1,54	— 2,84	— 3,91
4	— 1,50	— 2,29	— 3,31
5	— 1,32	— 1,65	— 2,54
6	— 1,06	— 1,01	— 1,64
7	— 0,80	— 0,40	— 0,75
8	— 0,60	— 0,22	0,15
9	— 0,41	0,81	0,91
10	— 0,27	1,64	1,45
11	— 0,05	1,94	2,01

Wären z. B. um 7, 2 und 9 Uhr Beobachtungen angestellt, so erhielte man als Verbesserungen

	Rio Janeiro	Halle	Nertschinsk
7.	1,24	0,94	2,31
2.	— 1,40	— 3,20	— 4,35
9.	— 0,41	0,81	0,91
	— 0,57	— 1,45	— 1,13

Bringt man diese Verbesserungen an der Summe der zu diesen Stunden gefundenen Mitteltemperaturen an, so weicht der dritte Theil des Restes von dem Tagesmittel nicht wesentlich ab, und verfährt man mit den Beobachtungen an Orten, welche diesen Normalstationen nahe liegen, in gleicher Weise, so wird man für diese Orte ebenfalls ausreichend genaue Resultate erhalten.

Für die Elimination der täglichen Veränderungen hat Dove von 29 Stationen die nöthigen Tafeln geliefert, und für die der jährlichen von 15 Stationen; außerdem bieten seine Temperaturtafeln die Monatsmittel von fast 1000 Stationen.

Als ein für Reisende besonders schätzbares Mittel für die Bestimmung der mittleren Jahrestemperatur eines Ortes ist hier noch zu erwähnen, daß diese unter gewissen Umständen ermittelt werden kann durch die Temperatur der Quellen, worüber das Nähere im Art. Quelle zu finden ist.

Will man durch die Isothermen eine Einsicht gewinnen in die klimatischen Verhältnisse unseres Erdkörpers, so kann es nicht genügen die Orte gleicher mittlerer Jahrestemperatur ohne weiteres zu verbinden, sondern es muß dabei auch Rücksicht genommen werden auf die Erhebung der Orte über das Meeresniveau. Die Wärme der Luft nimmt ab, wenn wir uns an derselben Stelle in der Atmosphäre höher erheben. Zwei nahe bei einander liegende Orte können daher sehr verschiedene Jahresmittel in ihrer Temperatur zeigen, wenn der eine hoch, der andere niedrig liegt. Die unregelmäßigen Erhebungen der Erdoberfläche würden mithin die Gestalt der Isothermen sehr verwickeln, und daher ist es zweckmäßig erschienen die Temperatur der einzelnen Beobachtungsstationen um so viel zu erhöhen, als die Wärmeabnahme verlangt, welche sie wegen ihrer Erhebung über das Meer erleiden. Die Isothermen werden also auf die Meeresfläche projicirt.

Ueber die Temperaturabnahme mit der Höhe ist bereits Einiges angeführt im Art. Atmosphäre Bd. I. S. 480. Hier sei noch bemerkt, daß man im Mittel für 1 Grad Celsius eine Erhebung von 600 Fuß annimmt, daß mithin für die Tiefebenen in Betreff der Isothermen eine Correction wegen der Erhebung über das Meeresniveau nicht nöthig erscheint. In sofern man dieses Gesetz, welches nur aus Resultaten von Beobachtungen an einigen Punkten abgeleitet ist, als ein allgemeines ansieht, kommt in die Bestimmung der Isothermen durch diese Reduction noch eine gewisse Ungenauigkeit, die allerdings nicht eher verschwinden wird, als bis speciellere Untersuchungen die erforderlichen Data liefern. Ueber die Ermittelung der Ortserhebung handelt Art. Höhenmessung.

Ueber die große Verschiedenheit der Höhen, welche einer Temperaturerniedrigung um 1° C. im jährlichen Mittel entsprechen, theilen wir folgende Resultate mit *). Nach v. Humboldt an Bergen in Süd-Amerika 98', auf Bergebenen und an größeren Bergmassen 128,7'; nach Kämtz in Süd-Deutschland und Nord-Italien zwischen 45 bis 50° Breite und zwischen Wien und Genf 88,6'; am St. Bernhard 103,7' (99,0 nach Gautier); nach Schouw am Süd-Abhange der Alpen 86'; nach Reich in Sachsen 89,4'; für Böhmen giebt Kahlmann 88,2' an; nach Bischof bei Bonn 91', nach Guérin am M. Ventoux 90', bei den Apenninen in 43⅓° Br. 95', bei Nicolosi auf dem Abhange des Aetna mehr als 200'; in Großbritannien nach Brisbane und Galbraith, zwischen 55 und 57° Br., 59,7', nach Kahlmann 66', nach Watson, zwischen 53 und 59° Br., 67,3', nach Jameson nur 42,2' (?), nach Playfair 76', nach Atkinson 60', an den Lead-Hills 57,2'; nach Kämtz in Ungarn 57,4' (?), im westl. Sibirien 127', in den (östl.) vereinigten Staaten Nord-Amerikas 114', im südlichen Vorder-Indien 91', im nördlichen 116,5', in Süd-Amerika auf Bergebenen 125', im Mittel aller Beobachtungen von Boussingault 113'.

*) Vergl. Dove's Repertorium, Bd. III. S. 330—339 u. Bd. IV. S. 154.

Die Unsicherheit bei der Reduction der Landstationen auf das Meeresniveau fällt natürlich bei Beobachtungen auf dem Meere selbst weg. Dieser Vorzug wird aber wieder beeinträchtigt dadurch, daß es auf dem Meere viel befahrene Straßen giebt neben weiten Strecken, die fast nie besucht werden, und daß hier die Jahreszeiten den wesentlichsten Einfluß ausüben, da die herrschenden Winde bestimmen, wann der Seefahrer eine bestimmte Fahrt am günstigsten unternehmen kann. Mit Recht klagt daher Dove über Mangel an ausreichenden Beobachtungen auf dem Meere bei scheinbar großem Reichthume.

Wenn die Oberfläche der Erde durchweg von derselben Beschaffenheit und frei von Erhöhungen und Vertiefungen wäre, so müßte die mittlere Temperatur der auf demselben Parallelkreise gelegenen Orte durchaus dieselbe sein, indem dieselbe allein nach der größeren oder geringeren Schiefe, in welcher die Sonnenstrahlen auffallen, sich richten müßte, in dieser Beziehung aber unter demselben Parallelkreise liegende Orte unter denselben Verhältnissen stehen. Man könnte ferner vermuthen, daß Orte, die von dem Südpole eben so weit wie andere Orte vom Nordpole abstehen, gleiche mittlere Temperatur mit diesen haben sollten. Allein schon das ungleiche Absorptions- und Emissionsvermögen (Verschluckungs- und Ausstrahlungsvermögen) des festen Landes und des Wassers für die Wärmestrahlen macht das Erstere nicht wahrscheinlich, und die ungleiche Vertheilung des Festen und Flüssigen auf der südlichen und nördlichen Halbkugel der Erde eben so wenig das Andere. Die Erfahrung bestätigt dies, indem die Formeln, nach denen man unter jenen Voraussetzungen die mittlere Temperatur berechnet hat, gar häufig mit den Beobachtungen nicht übereinstimmende Resultate liefern. Als z. B. die Britten die ersten bleibenden Ansiedlungen in dem Littorale der Vereinigten-Staaten von Nord-Amerika gründeten, erstaunten die Ansiedler von Nord-Carolina und Virginien an bis zum St. Lorenz-Strome über die Winterkälte, die sie erlitten, wenn sie dieselbe mit der von Italien, Frankreich und Schottland unter denselben Breitengraden verglichen.

Es würde hier zu weit führen, eine Tabelle zu geben über die mittleren Temperaturen der großen Anzahl von Orten, an welchen eine solche Ermittelung stattgefunden hat; wir verweisen deshalb neben den bereits angeführten Quellen auf v. Humboldt's kleinere Schriften, denen im ersten Theile 5 im Jahre 1853 redigirte Tafeln beigefügt sind, welche die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche in der jährlichen Periode und zwar die mittlere Temperatur des Jahres und deren Vertheilung auf die Jahreszeiten von 506 Stationen enthalten. Die Uebersicht über die mittlere Jahreswärme bietet am klarsten v. Humboldt's Karte der Jahres-Isothermen, die wir hier nach dem physikalischen Atlas von Berghaus mittheilen, dessen Vorbemerkungen zu demselben Atlas namentlich in der zweiten Lieferung ebenfalls ein reiches Material mit Angabe der Quellen darbieten.

Auf umstehender Karte sind die beiden Isothermen für 0° und eben so die Isotherme von 28°, welche man wohl auch den Wärmeäquator nennt, in ausgezogenen, die anderen Isothermen in punktirten Linien dargestellt. Ein Blick auf die Karte zeigt, daß der Wärmeäquator nicht parallel läuft mit dem Erdäquator. Der erstere durchschneidet in der nördlichen Halbkugel 255°, dagegen in der südlichen nur 105° des Erdumfanges. In der nördlichen steigt er



Karte der Jahresisothermen.

bis 15° n. Br., in der südlichen nur bis $6^1/_2$° s. Br. Die Knoten des Wärme- und Erdäquators sind: in der westlichen Halbkugel bei 155° w. L. von Paris, im Meridian der Sandwich-Insel Hawaii, in der östlichen bei 102° ö. L., im Meridian von Singapore. Auch das absolut größte Maximum der Wärme fällt in die nördliche Halbkugel und findet sich im Innern von Afrika, wiewohl auch auf der südlichen Halbkugel, indessen auf kleinerem Raume, nämlich im Borneo-Meere oder vielmehr in der Sunda-Straße, ein ähnliches Maximum auftritt.

Mit Berücksichtigung der speciellen Resultate ist man zu folgenden Sätzen gelangt:

1) Die Tropenzone in Afrika ist die heißeste Gegend auf der Erde.
2) Der heiße Erdgürtel in Afrika ist um 1°,2 wärmer als Südasien, um 2°,3 wärmer als die Küstenländer im tropischen Amerika.
3) Die Tropen Asiens sind um 1°,1 wärmer als die Tropen Amerikas.
4) Die tropischen Küstenländer der Alten Welt sind um 1°,6 wärmer als die tropischen Küstenländer des Neuen Continents.
5) Die Tropenzone des Großen Oceans, im stromfreien Meere, ist um $1^1/_4$° wärmer als die gleichnamige Zone des Atlantischen Oceans.

In Betreff der anderen Isothermen machen wir noch darauf aufmerksam, daß dieselben im westlichen, oder atlantischen Europa Wellenlinien bilden, bei denen sich etwa drei convexe und zwei concave Scheitel erkennen lassen. Die Isothermzone des mittelländischen Meeres scheint sogar in ihren Grenzcurven vier convexe und drei concave Scheitelpunkte zu haben. Besonders auffallend ist die Reihe der convexen, zugespitzten Scheitel, welche vom Südende Portugals über die Mitte der Iberischen Halbinsel, die Westspitze Frankreichs, die Insel Man, zwischen den Shetländischen Inseln und den Faröern hindurch, östlich von Island und westlich der Lofodden ziehen.

Auf diese Beugung der Isothermen im Gebiete des mittelländischen Meeres und im westlichen Europa üben wahrscheinlich die warmen Luftströme ihren Einfluß aus, welche aus der Mitte des nordatlantischen Oceans an die westlichen Gestade unseres Erdtheils gelangen; dann aber auch die Gluthwinde Afrikas, die sich aus dem Sandocean der Sahara erheben und ihre Hitze über Europa auf Linien ausschütten, welche die Gebirgslücken zu ihrem Durchgange gewählt haben.

Ein anderes, der Beachtung nicht unwerthes Phänomen ist das Zusammendrängen der Isothermen von $22^1/_2$° bis 10° im Südosten von Europa, auf der Grenze mit Asien, innerhalb des kaspischen See-Gebiets. Es wird diese Erscheinung hervorgebracht erstens von der Aequatorial-Beugung des 10. Isothermstreichs gegen das Innere des Festlandes, als Folge der östlichen Continental-Stellung, zweitens von der Nähe der heißen und trocknen Sandwüsten auf dem Tafellande von Iran, und drittens von der suboceanischen Lage des kaspischen Sees und seiner nächsten Umgebungen *).

Betrachten wir die Isothermen an den Ostküsten der Continente im Vergleich mit denselben an den Westküsten, so sehen wir, daß auf der nördlichen Halbkugel die Isothermen an der Westseite weiter nach Norden hinaufsteigen, als sie auf der Ostseite liegen. Es ist also in gleichen Breiten die mittlere Jahres-

*) Vergl. Berghaus, Vorbemerkungen. S. 4 u. 17.

temperatur an der Ostküste niedriger als an der Westküste. Zu Nain in Labrador (Br. 57° 10′) ist z. B. diese Temperatur volle 3°,8 unter dem Gefrierpunkte, während sie an der Nordwestküste in Neu-Archangelsk im russischen Amerika (Br. 57° 3′) noch 6°,9 über dem Gefrierpunkte ist. Am ersteren Orte erreicht die mittlere Sommertemperatur kaum 6°,2, während sie am zweiten noch 13°,8 ist. Peking (Br. 39° 54′) an der Ostküste von Asien hat eine mittlere Jahrestemperatur (11°,3), die über 5° geringer ist, als die des etwas nördlicher liegenden Neapels. Die mittlere Temperatur des Winters in Peking ist wenigstens 3° unter dem Gefrierpunkte, wenn sie im westlichen Europa, selbst zu Paris (48° 50′), volle 3°,3 über dem Gefrierpunkte steht. Peking hat also eine mittlere Winterkälte, die 2°,5 größer ist als das 17 Breitengrade nördlichere Kopenhagen. Jakutzk ist für jeden Tag im Jahre 17°,5 kälter als die Faröer, obgleich beide in gleicher Breite liegen. Diese erhöhte Temperatur an der Westküste Europas hat nach Dove ihren Grund in der von dem caraibischen Meere aufsteigenden, in Folge der Axendrehung der Erde nach NO. strömenden Luft, welche in nördlichen Gegenden ihren Wasserdampf in tropfbarflüssiger Form verliert, und auf diese Weise die früher gebundene Wärme frei macht. Aus gleichem Grunde zeigt sich die höhere Temperatur nur an dem schmalen Küstenstriche Westamerikas, indem die aus dem stillen Ocean kommende Luft auf diesem Striche durch die Andes und Felsgebirge zur Condensation ihrer Wasserdämpfe gezwungen wird. In Asien fehlt für die Winde, welche in dieser Richtung kommen, der Wasserdampf, also kann hier keine Wärme frei werden.

Vergleicht man zwischen 58° und 30° nördlicher Breite Nain an der Küste von Labrador mit Gothenburg, Halifax mit Bordeaux, New-York mit Neapel, San Augustin in Florida mit Cairo; so findet man unter gleichen Breitengraden die Unterschiede der mittleren Jahrestemperatur zwischen Ost-Amerika und West-Europa, von Norden gegen Süden fortschreitend: 11°,5; 7°,7; 3°,8 und fast 0°. Hieraus sehen wir zugleich, daß die Isothermen immer mehr mit den Parallelkreisen zusammenfallen, je näher wir dem Aequator kommen.

Bei Annäherung an den Nordpol nehmen die mittleren Jahrestemperaturen in folgender Weise ab:

nördl. Breite	Alter Continent	Neuer Continent.
von 0° bis 20°	um 2°	2°
20 - 30	4	6
30 - 40	4	7
40 - 50	7	9
50 - 60	5,5	7,4
von 0° bis 60°	um 22°,5	um 31°,4

Hierbei macht v. Humboldt*) besonders aufmerksam auf die schnellste Abnahme der mittleren Temperatur zwischen 40° und 50°, oder eigentlich 40° und 45°; er sagt: „dieser Umstand mußte günstig auf die Gesittung und den Kunstfleiß der Völker einwirken, welche die dem mittleren Parallel benachbarten Länder bewohnen. Es ist dies die Stelle, wo das Gebiet des Weinbaus sich mit

*) Kleinere Schriften Bd. I. S. 237; vergl. auch Kosmos. Bd. I. S. 340 ff.

dem des Oelbaums und der Citronen berührt. Nirgends sonst sieht man auf dem Erdboden, wenn man von Norden nach Süden vordringt, die Temperaturen bedeutender zunehmen; nirgends auch folgen die Erzeugnisse des Pflanzenreichs und die mannigfaltigen Gegenstände des Ackerbaues mit mehr Schnelligkeit auf einander. Eine bedeutende Verschiedenheit in den Erzeugnissen zusammengrenzender Länder belebt aber den Handel und vermehrt die Industrie der ackerbauenden Völker."

Da wir an diesem Orte die Beziehungen nicht erschöpfend darlegen können, zu welchen das Studium der Isothermenkarte Veranlassung giebt, so möge diese Probe von dem Schöpfer dieses Studiums selbst wenigstens die Idee davon veranschaulichen.

Bei der Aufzählung der Ursachen, welche Störungen in der Gestalt der Isothermen hervorbringen, unterscheidet v. Humboldt *) die temperaturerhöhenden und temperatur-vermindernden Ursachen.

Zu der ersten Klasse gehören: die Nähe einer Westküste in der gemäßigten Zone; die in Halbinseln zerschnittene Gestaltung eines Continents; seine tief-eintretenden Busen und Binnenmeere; die Orientirung, d. h. das Stellungsverhältniß eines Theils der Feste, entweder zu einem eisfreien Meere, das sich über den Polarkreis hinaus erstreckt, oder zu einer Masse continentalen Landes von beträchtlicher Ausdehnung, welches zwischen denselben Meridianen unter dem Aequator oder wenigstens in einem Theile der tropischen Zone liegt; ferner das Vorherrschen von Süd- und Westwinden an der westlichen Grenze eines Continents in der gemäßigten nördlichen Zone; Gebirgsketten, die gegen Winde aus kälteren Gegenden als Schutzmauern dienen; die Seltenheit von Sümpfen, die im Frühjahre und Anfange des Sommers lange mit Eis belegt bleiben, und der Mangel an Wäldern in einem trockenen Sandboden; endlich die stete Heiterkeit des Himmels in den Sommermonaten und die Nähe eines pelagischen Stromes, wenn er Wasser von einer höheren Temperatur, als das umliegende Meer besitzt, herbeiführt.

Zu den die mittlere Jahrestemperatur verändernden kälteerregenden Ursachen zählt derselbe: die Höhe eines Ortes über dem Meeresspiegel, ohne daß bedeutende Hochebenen auftreten; die Nähe einer Ostküste in hohen und mittleren Breiten; die massenartige (compacte) Gestaltung eines Continents ohne Küstenkrümmung und Busen; die weite Ausdehnung der Feste nach den Polen hin bis zu der Region des ewigen Eises, ohne daß ein im Winter offen bleibendes Meer dazwischen liegt; eine Position geographischer Länge, in welcher der Aequator und die Tropenregion dem Meere zugehören, d. i. der Mangel eines festen sich stark erwärmenden, wärmestrahlenden Tropenlandes zwischen denselben Meridianen als die Gegend, deren Klima ergründet werden soll; Gebirgsketten, deren mauerartige Form und Richtung den Zutritt warmer Winde verhindert, oder die Nähe isolirter Gipfel, welche längs ihren Abhängen herabsinkende kalte Luftströme verursachen; ausgedehnte Wälder, welche die Isolation des Bodens hindern, durch Lebensthätigkeit der appendiculären Organe (Blätter) große Verdunstung wässeriger Flüssigkeit hervorbringen, mittelst der Ausdehnung dieser Organe die durch Ausstrahlung sich abkühlende Oberfläche vergrößern, und also dreifach: durch Schatten-

*) Kosmos. Bd. I. S. 343.

kühle, Verdunstung und Strahlung, wirken; häufiges Vorkommen von Sümpfen, welche im Norden bis in die Mitte des Sommers eine Art unterirdischer Gletscher in der Ebene bilden; einen nebligen Sommerhimmel, der die Wirkung der Sonnenstrahlen auf ihrem Wege schwächt; endlich einen sehr heiteren Winterhimmel, durch welchen die Wärmestrahlung begünstigt wird.

Die gleichzeitige Thätigkeit dieser störenden Ursachen bestimmt als Totaleffect die Beugungen der Isothermen und erzeugt die convexen und concaven Scheitel der isothermen Curven. Die Isothermkarte dient als Bestätigung, wenn man auf die geographischen Verhältnisse der einzelnen Localitäten gehörige Rücksicht nimmt.

Das Bild, welches man durch die Isothermkarte für die Vertheilung der mittleren Jahreswärme gewinnt, paßt nicht für die einzelnen Abschnitte des Jahres; denn es ist der Wärmeunterschied zweier Orte nicht das ganze Jahr hindurch derselbe, und eben so können zwei Orte bei gleicher mittlerer Jahreswärme wesentliche Unterschiede zeigen in den mittleren Temperaturen der einzelnen Monate und der Jahreszeiten. Es ist dies besonders wichtig für die Klimatologie (s. Art Klima), weil man Gegenden von gleicher mittlerer Jahreswärme nicht ohne Weiteres als auch dem Klima nach gleich ansehen darf. Es zeigt diese Verschiedenheit deutlich folgende Tabelle von v. Humboldt *), welche die mittleren Temperaturen des Sommers und Winters für Gegenden enthält, welche dasselbe Jahresmittel haben.

Isothermen von	Gegend	Mittlere Temperatur	
		des Winters	des Sommers
20°	Florida	12°	27°
	Madeira	17,5	22,2
	Nord-Afrika	15	27
17½	Mississippi	8	25
	Italien	10	25
15	Becken des Ohio	4	25,5
	Südliches Frankreich	7	24
12½	Amerika westl. von den Alleghanis	1,5	24
	Amerika östl. v. denselben	0,3	25
	Westliches Frankreich	5	20
	Lombardei	1,5	23
	Ost-Asien	— 3,0	28
10	Amerika westl. von den Alleghanis	— 0,5	22
	Amerika östl. von den Alleghanis	— 1,0	23
	Irland	4,0	15,3
	England	3,0	17
	Belgien	2,5	17,5
	Ungarn	— 0,5	21
	Ost-Asien	— 5,0	26

*) Kleinere Schriften. Bd. 1. S. 255.

Isotherme von	Gegenden	Mittlere Temperatur des Winters	des Sommers
7½°	Amerika östl. von den Alleghanis	— 4,5	22
	Schottland	2,3	13,6
	Dänemark	— 0,7	17
	Polen	— 2,2	19
5	Canada	— 10	20
	Westliches Norwegen	— 4	17
	Schweden	— 4	16
	Finnland	— 5	17,5
	Centrales Rußland	— 10,5	20
2½	Canada	— 14	16
	Westküste } des bothnischen Meerbusens	— 8	14
	Ostküste } des bothnischen Meerbusens	— 8,5	15
0	Labrador	— 16	11
	Schweden	— 11,5	12
	Nordspitze von Norwegen	— 4,5	6,5

Es genüge Beispiels halber aufmerksam zu machen auf Irland und England im Gegensatze zu Ost-Asien, wo sofort die große Verschiedenheit des Klimas in die Augen springt.

Um auf dem von v. Humboldt eingeschlagenen Wege eine genauere Einsicht in die Wärmeverhältnisse der Erdoberfläche zu gewinnen, erscheint es also nothwendig, für kleinere Zeiträume die Linien gleicher Wärme zu bestimmen und die Veränderungen zu verfolgen, welche die Lage dieser Linien während des ganzen Jahres durchlaufen. Schon v. Humboldt *) hat dergleichen Linien zu bestimmen gesucht für die mittlere Winter- und mittlere Sommer-Temperatur, und nennt jene Isochimenen (v. d. griech. ἴσος, gleich und χειμών, Winter), diese Isotheren (v. d. griech. ἴσος, gleich und θέρος, Sommer); aber das Hauptverdienst auf diesem Gebiete gebührt Dove durch seine Monatsisothermen, worunter die Curven verstanden werden, welche Orte verbinden, die innerhalb desselben Monats eine gleiche Temperatur haben.

Die Veränderungen in der mittleren Monats-Temperatur durch einige Beispiele zu veranschaulichen, folgen hier die Monatsmittel für drei Orte, welche als Repräsentanten der heißen, gemäßigten und kalten Zonen betrachtet werden können.

*) Kleinere Schriften. Bd. 1. S. 251 ff.

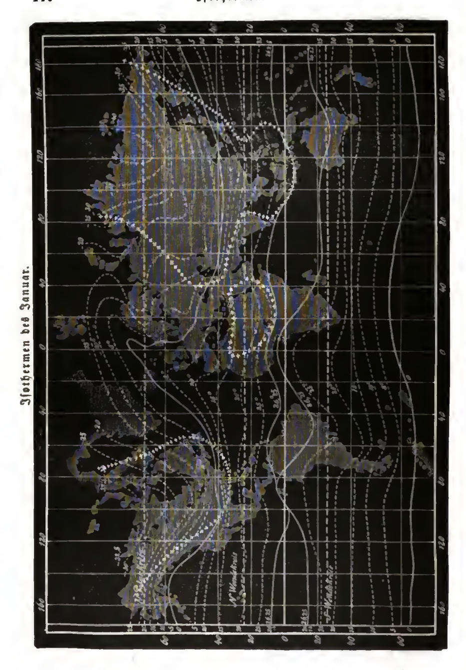
	Quito	Halle	Enontekis
Geographische Breite . .	— 0° 14′	51° 30′	68° 30′
Januar	14°,6	— 2°,8	— 17°,8
Februar	16,1	— 0,4	— 16,7
März	15,6	4,25	— 11,4
April	15,5	8,4	— 3,25
Mai	15,9	13,2	2,6
Juni	15,0	16,3	9,45
Juli	15,1	19,2	14,5
August	16,1	17,1	13,7
September	16,3	14,8	5,6
October	15,5	9,1	— 2,3
November	15,3	3,1	— 11,25
December.	15,8	2,4	— 16,4
Jahresmittel	15,57	8,72	— 2,77
Unterschied zwischen dem wärmsten und kältesten Monate	1°,7	22°,0	32°,3.

Während Quito das ganze Jahr hindurch fast auf derselben Isotherme liegt, geht durch Halle die Jahresisotherme 8°,72, im Sommer die von 19°,2 und im Winter fast die von — 3°, und eben so wird Enontekis von der Jahresisotherme (— 2°,77) bis + 14°,5 hinauf und — 17°,8 herabgerückt. In dem einen Falle beträgt die Verschiebung nur 1°,7, im anderen 22° und im dritten gar 32°,3, und dies ist noch nicht das Maximum, denn in Jakutzk steigt dieselbe bis auf 63°.

Schon aus diesen wenigen Beispielen wird es klar werden, wie wesentlich die Klimatologie gefördert werden muß, wenn diese Verhältnisse bei den verschiedenen Gegenden der Beurtheilung und Vergleichung zu Grunde gelegt werden.

Wir können hier die sämmtlichen Monatsisothermen von Dove nicht wiedergeben; es mögen auf umstehenden Seiten die auf kleineres Format reducirten Isothermen des Januar und Juli genügen, was um so mehr statthaft erscheint, als diese die Extreme zur Anschauung bringen.

Dove hat die einzelnen Monats-Isothermen einer besonderen Discussion unterworfen, die viele höchst interessante Gesichtspunkte darbietet. Da dieselbe keines Auszugs fähig ist, wodurch überdies nur der Genuß des Ganzen gestört werden würde, so müssen wir auf diese bedeutende Arbeit selbst verweisen. Hier empfehlen wir besonders die Aufmerksamkeit auf den Verlauf der nördlichen Isotherme von Null Grad und zwar auf der Karte des Januar im Vergleich mit derjenigen der Jahres-Isothermen zu richten. Um den Verlauf dieser beiden Curven besser übersehen zu können, sind sie in ausgezogenen Linien dargestellt. Der convexe Scheitel zwischen Island und Skandinavien und das fast im Meridian von Brüssel auftretende Herabsteigen von dem nördlichen Polarkreise bis nach Holland verdient auf der Karte des Januar vorzugsweise Beachtung, indem sich hierbei der Einfluß des Golfstromes unverkennbar herausstellt.



Isothermen des Januar.



Isothermen des Juli.

Ein zweiter die Aufmerksamkeit namentlich verdienender Punkt betrifft die den heißesten Raum auf der Januarkarte einschließenden Scheidelinien der Temperatur beider Hemisphären von 26°,2. Das weite Uebergreifen dieses heißen Raumes auf die Südhälfte der Erde im indischen Oceane und das Umschlagen des Nordostpassates in derselben Gegend in den Nordwestmonsoon (vergl. Art. Winde) stehen mit einander in innigem Zusammenhange. Um diesen heißesten Raum besser kenntlich zu machen, sind auf der Karte die Scheidelinien ebenfalls in ausgezogenen Linien dargestellt.

Wie verschieden ist die Isothermkarte des Juli! Auf die einzelnen Punkte besonders hinzuweisen, dürfte hier nicht nöthig sein; wir heben daher nur den von den Isothermen von 25° eingeschlossenen heißesten Raum hervor, in welchem sich in Afrika und Ostindien ein langgezogener Raum bildet, eingeschlossen von einer Isotherme von 30°, und in diesem noch ein kleinerer, umschlossen von einer Isotherme von 32°,5. Dove erinnert daran, daß dies die Gegenden seien, von denen Hagi Ismael sagt, daß die Erde von Feuer, und der Wind eine Flamme; auch führt er hierbei das bezeichnende Wort der Afghanen an: „Guter Gott, warum hast du die Hölle geschaffen, da doch Ghizni schon da war." Da diese heißesten Stellen bis über den Wendekreis des Krebses hinaus rücken, so ist es kein Wunder, daß der SO. Passat als SW. Monsoon dem zurückweichenden NO. Passat bis zum Fuße des Himalaya folgt (vergl. Art. Winde), und eben so daß über den zusammenhängenden Ländermassen Asiens bis hoch im Norden hohe Temperaturen hervortreten. — Im Antillenmeere tritt zwar auch eine heißeste Stelle auf, doch erreicht diese wegen des Meeres keine so hohe Temperatur als in Afrika und Ostindien. Es ist dies die Stelle, von welcher der aufsteigende Luftstrom als SW. temperaturerhöhend auf die Westküste Europas einwirkt, wie oben bereits hervorgehoben wurde.

Dove faßt die Gestaltänderung der Isothermen für die drei Welttheile der nördlichen Erdhälfte in folgenden Worten zusammen:

In Asien rücken in der jährlichen Periode die Isothermen am weitesten herauf und herunter, die im Winter concaven Scheitel verwandeln sich im Sommer in convexe.

In Europa drehen sich die Isothermen am stärksten.

In Amerika rücken die concaven Scheitel vom Winter nach dem Sommer hin aus dem Innern des Continents nach den Ostküsten und verflachen sich erst im Spätsommer und Herbst.

Asien hat daher kalte Winter und heiße Sommer, Europa mäßigt beide Extreme, Amerika hat strenge Winter, ein kaltes Frühjahr, schließt sich im Sommer an Europa an, übertrifft es aber durch die Schönheit seines Herbstes.

Auf die physikalischen Ursachen dieser Unterschiede haben wir bereits oben in den temperatur-erhöhenden und vermindernden hingewiesen, der Art. Klima geht darauf noch näher ein und namentlich giebt der Charakter des See- und des Continental-Klimas in seiner richtigen Auffassung die deutlichste Einsicht.

Verfolgt man die Verschiebung der Isothermen durch das ganze Jahr hindurch, und fragt man, in welcher Richtung wir von einem bestimmten Orte fortschreiten müssen, um stets zu Punkten gleicher Wärme zu gelangen, so ergiebt sich, daß alle diese Richtungen in eine Fläche fallen, welche wie die Schneegrenze sich von den Polen nach dem Aequator hin immer höher erhebt. Der Durchschnitt

einer solchen isothermen Fläche mit der Erdoberfläche ist die isotherme Linie.

Nimmt die Mittagshöhe der Sonne zu, so erhebt sich die Temperatur an der Erdoberfläche, d. h. die isothermen Flächen heben sich und ihre Durchschnittslinien entfernen sich von dem Aequator; bei abnehmender Mittagshöhe der Sonne findet das Entgegengesetzte statt. Die nördliche und südliche Erdhälfte stehen immer gleichzeitig in diesem Gegensatze. Da innerhalb der Wendekreise die Aenderung der Mittagshöhe der Sonne geringer ist, als außerhalb derselben, so haben diese isothermen Flächen hier gewissermaßen einen festen Stützpunkt. Man kann sich daher eine solche Fläche wie eine zeltartige Hülle denken, welche am Aequator aufgehängt auf die nördliche und südliche Erdhälfte herabfällt und je nach der Veränderung der Mittagshöhe der Sonne sich hebt und senkt in der Weise, wie es oben angegeben ist. Wie viel isotherme Flächen, so viel solcher Hüllen hätte man sich zu denken. Verfolgt man nun das Schneiden dieser Flächen mit der Erdoberfläche, so ergeben sich folgende vier Fälle:

1) Die Isothermen können stets paarweise vorkommen. Dies sind die Isothermen von 0° bis 25° C.
2) Einfache und paarweise. Hierher gehören viele Isothermen unter 0°, auch einige der höchsten Temperatur, z. B. 28° C.
3) Nur einfach. Hierher gehören die niedrigsten Isothermen, z. B. — 40° C., und eben so die höchsten, z. B. 32°,5 C. Diese zeigen sich nur zu gewissen Zeiten und nur auf einer Erdhälfte.
4) Die Isothermen können sich spalten, d. h. eine Zeitlang einfach verlaufen und dann sich in zwei Aeste theilen, z. B. 26°,25 C.

Zum Schluß dieses Artikels haben wir noch eines fruchtbaren Begriffes zu erwähnen, welchen Dove eingeführt hat; dies sind die thermischen Normalen.

Jeder Breitenkreis hat eine bestimmte mittlere Wärme, wie verschieden auch die Temperatur unter den verschiedenen Längen ausfallen mag. Ein Ort nun, dessen Temperatur der mittleren seiner geographischen Breite entspricht, besitzt eine normale Temperatur, alle, deren Temperatur geringer ist, sind relativ kalt, alle, deren Temperatur höher ausfällt, relativ warm. Verbindet man alle Orte normaler Temperatur, so erhält man die thermischen Normalen, die zugleich die Grenzlinien des See- und Continentalklimas sind, wenn man alle Orte, die im Winter zu warm, im Sommer zu kühl sind, dem Seeklima zurechnet, die hingegen dem continentalen, welche im Winter zu kalt und im Sommer zu warm sind.

Auf den Isothermkarten des Januar und Juli stellen die mit Sternen gezeichneten Curven die thermischen Normalen dieser Monate dar. Die Betrachtungen, zu welchen diese Normalen anregen, gehören in den Art. Klima; hier sei nur bemerkt, daß man durch dieselben beurtheilen kann, ob ein Ort stets der einen Form, dem See- oder Continentalklima, angehört, oder ob er im Laufe des Jahres seine Rolle vertauscht. So sehen wir, daß Asien sowohl im Januar als im Juli im Continentalklima liegt, eben so das Innere von Afrika; aber in Europa finden wir im Juli Continentalklima und im Januar Seeklima; in Neufundland und Labrador tritt ein Wechsel in entgegengesetzter Weise auf,

indem diese Gegenden im Januar im Continentalklima liegen, aber im Juli im Seeklima.

Auch wollen wir hier die Aufmerksamkeit noch richten auf die südliche Hemisphäre. Es wird vielfach behauptet, daß diese kälter sei als die nördliche. Werfen wir aber einen Blick auf die Isothermkarten, so fällt uns sogleich auf, daß die Isothermcurven nur wenig und viel weniger als im Norden von der Richtung der Parallelkreise abweichen; es wird dadurch schon anschaulich, daß die Temperatur in der südlichen Erdhälfte während des ganzen Jahres sich der normalen sehr nähert. Vergleichen wir nun Orte der nördlichen Erdhälfte, welche mit Feuerland, z. B. in ungefähr gleicher Entfernung vom Aequator liegen, so finden wir, daß in Quebeck (47° n. Br.) die mittlere Januartemperatur — 10° beträgt, im Juli ist dieselbe auf Feuerland (55° s. Br.) kaum 0°; ja in Quebeck fällt das Thermometer nicht selten im Winter auf — 26°, ja selbst auf — 30°. Noch auffallender ist ein Vergleich zwischen Labrador und Feuerland, da diese in Betreff der Breite noch mehr übereinstimmen. Nehmen wir hinzu, daß selbst in Neufoundland, welches eine geringere Breite als Kap Horn hat, die Häfen im Winter drei bis vier Monate zugefroren sind, während am Kap Horn keine der kleinen Buchten, keiner der Häfen jemals gefriert; bedenken wir, daß die Bewohner Feuerlands selbst im Winter nackt gehen; berücksichtigen wir, daß bei der Magelhaens-Straße Kolibris und Papageien sehr zahlreich sind: so kommen wir zu dem Schlusse, daß die Winter auf der südlichen Halbkugel absolut milder sind als auf der nördlichen.

Zu gleichem Resultate gelangt man bei einer Vergleichung der auf demselben Meridiane liegenden anderen Stellen der südlichen und nördlichen Erdhälfte, wozu die Isothermkarten ausreichende Anhaltepunkte gewähren. Le Gentil *) und vorzüglich Kirwan **) haben das Verdienst zuerst dargethan zu haben, daß der Einfluß des den Pol umlagernden Eises (Circumpolar-Eises) auf die Klimate sich nicht so weit in die gemäßigte südliche Zone erstreckt, als man allgemein angenommen hatte. H. E.

Juno, s. Planeten.

Jupiter, s. Planeten.

Kältemischung, Frostmischung. Während bei dem Uebergange der gasförmigen und flüssigen Körper in den flüssigen und festen Zustand Wärme frei wird, bedürfen die flüssigen und festen Körper einer bedeutenden Menge von Wärme, wenn wir sie in den gasförmigen oder flüssigen Zustand überführen wollen. Bedienen wir uns hierbei keiner künstlichen Wärmequelle, so entziehen die Körper die zu ihrer Umwandlung nöthige Wärme ihrer nächsten Umgebung und dadurch entsteht Kälte. So z. B. bei Lösungen von Salzen in Wasser oder von Metallen

*) Voyage dans les Mers de l'Inde 1779. T. I. p. 73.

**) Estimate of Temperature p. 60; Transact. of the Royal Irish Acad. T. VIII. 1802. p. 423; vergl. A. v. Humboldt, Kleinere Schriften. Bd. I. S. 283.

in Quecksilber. Die Wirkung trockner Salze, die eine große Verwandtschaft zum Wasser haben, d. h. sich leicht in demselben auflösen, ist so energisch, daß dadurch bedeutende Mengen von Schnee oder Eis geschmolzen werden können. Man hat sogar vorgeschlagen *) das Eis auf den Straßen durch Bestreuen mit Kochsalz zu entfernen.

Die erste Beobachtung dieser Art machte Boyle. In seiner Schrift über die Kälte **) spricht er von der Wirkung der Salze beim Schmelzen des Schnees oder Eises. Später beobachtete er auch ***), daß man gleichfalls eine beträchtliche Kälte durch bloßes Auflösen von Salmiak in Wasser hervorbringen könne. In späterer Zeit erregten diese Versuche große Aufmerksamkeit und man hat eine Menge sogenannter Kälte- oder Frostmischungen festgestellt, d. h. Gemenge von Salzen und Wasser, Säuren, Schnee oder Eis, durch die man beträchtliche Temperaturerniedrigungen erzielen kann. Mit Hülfe derselben hat man das Verhalten der verschiedensten Körper in der Kälte und zwar bei solchen Graden studirt, die uns in unserem gemäßigten Klima durch die Natur nicht geboten werden. Wasser und Quecksilber z. B. kann man so bei der größten Hitze des Sommers, ja sogar über dem Feuer zum Gefrieren bringen. Hierin findet auch der bekannte artige Scherz, einen Teller in einem warmen Zimmer anfrieren zu lassen, seine Erklärung. Man stellt nämlich einen Teller in wenig Wasser, und füllt ihn mit feinzerriebenem Kochsalz und Schnee, die man gut unter einander mengt. Nach wenig Augenblicken ist dann der Teller festgefroren.

Die allgemeinen Regeln, welche man zu befolgen hat, wenn man sich dieser Kältemischungen bedienen will, sind folgende. Um eine möglichst große Temperaturerniedrigung hervorzubringen, muß man die Salze fein pulvern und fleißig umrühren, also die Auflösung erleichtern. Deshalb sind im Allgemeinen die Salze vorzuziehen, die sich am leichtesten lösen; aus diesem Grunde sind auch verdünnte Säuren oft zweckentsprechender als Wasser. Ist das Salz fähig Krystalle oder Hydratwasser aufzunehmen, so muß es auf das Vollständigste damit gesättigt sein, denn sonst nimmt es das Fehlende bei der Operation selbst auf und jede chemische Verbindung erzeugt Wärme. In jedem Falle wird dadurch die Temperaturerniedrigung eine geringere, ja sie kann sogar ganz vereitelt werden, wenn nämlich durch die chemische Verbindung mehr Wärme frei, als durch den Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand gebunden wird. Die Temperatur der umgebenden Luft hat natürlich einen Einfluß auf die Erkältung, im Sommer einen ungünstigen, im Winter einen günstigen. Daher darf man die Versuche nicht in einem zu kleinen Maßstabe anstellen, mindestens mit 2 bis 3 Pfund der Mischung. Zur Aufnahme der Kältemischung wählt man ein Gefäß aus einem Material, z. B. Holz, welches die Wärme schlecht leitet, also die Einwirkung der wärmeren Umgebung möglichst verhindert. Die Gefäße hingegen, in denen das Gefrieren erfolgen soll, müssen sehr dünne sein und aus Materialien angefertigt werden, welche die Wärme gut leiten. Günstigere Erfolge erzielt man natürlich, wenn man das Gefäß mit der Kältemischung abermals mit einer solchen umgiebt.

*) Graham-Otto, Lehrbuch der Chemie. Bd. I. S. 63.
**) Histor. experiment. de frigore. London 1665.
***) A new frigoric experiment in Philos. transact. n. 15.

Man kann zwar durch solche Frostmischungen mitten im Sommer und ohne Anwendung von Schnee oder Eis Wasser und Quecksilber zum Gefrieren bringen, aber mit Hülfe der letzteren, besonders wenn die anderen hierzu gebräuchlichen Materialien zuvor auch möglichst erkältet worden sind, wird die Arbeit doch wesentlich erleichtert und weniger kostspielig gemacht. Es braucht wohl kaum erst gesagt zu werden, daß man aus den Auflösungen die Salze durch Abdampfen wieder gewinnen kann.

Diese Temperaturerniedrigungen haben natürlich ihre bestimmten Grenzen. Sie ist beschränkt durch den Grad, wo die Mischungen selbst gefrieren. Dies zeigten zuerst De Luc und Blagden. So z. B. zerfällt eine Auflösung von Kochsalz in Wasser bei — 20° vollständig in Eis und krystallisirtes wasserhaltiges Kochsalz; beide wirken dann nicht mehr auf einander. Beim Chlorcalcium und Schnee tritt dieser Punkt erst bei — 60° ein und bei verdünnter Schwefelsäure und Schnee liegt er noch weit tiefer.

Wie schon gesagt, hat man namentlich in älterer Zeit viele Versuche hierüber angestellt, die wir hier jedoch nur mit wenigen Worten besprechen wollen. Wir führen dafür die Quellen an, so daß diese Jedem zugänglich werden können.

Fahrenheit bediente sich bekanntlich einer Mischung von Eis und Salmiak, um den Nullpunkt seines Thermometers zu bestimmen, weil er glaubte, daß die stärkste natürliche Kälte sich über diesen Punkt nicht erstrecke. Reaumur war es zuerst, der die durch Kältemischungen hervorgebrachten Temperaturerniedrigungen vermittelst des Thermometers bestimmte *). Ferner haben sich mit ähnlichen Versuchen beschäftigt Hutchins **), Joh. H. Rab zu Henley House in der Hudsons Bay (auf Betrieb von Cavendish) ***), Richard Walker, Apotheker zu Oxford ****), Blagden *****), Lowitz ******), Hussin Puschkin †), Fourcroy und Vauquelin ††), Guyton †††), Zanetti der Aeltere ††††), Hassenfratz †††††), van Mons *†), Hutton **†),

*) Mémoir. de l'acad. roy. des scienc. 1734.

**) Phil. trans. Vol. LXXII.

***) Crell, Beiträge z. d. chem. Ann. Bd. II. S. 279.

****) Phil. trans. Vol. LXXVIII. Part. II. p. 277. Vol. LXXIX. Part. II. p. 199. Phil. trans. for the year 1795. Part. II. p. 270. Deutsch: Gren's Journal der Physik. Bd. I. 1790. S. 419; Bd. II. S. 358. Gren's neues Journal der Physik. Bd. III. 1796. S. 458.

*****) Phil. trans. Vol. LXXVIII. Part. I. p. 125 u. Part. II. p. 277. Deutsch: Gren's Journ. d. Phys. Bd. I. S. 87 u. 389.

******) Crell's chem. Ann. 1796. Bd. I. S. 529.

†) Crell's chem. Ann. 1798. Bd. I. S. 1.

††) Bulletin des Sciences de la soc. philomat. An VII. p. 179; ausführlicher Annales de Chimie. No. 87. p. 281. Deutsch: Gilbert's Ann. d. Phys. Bd. I. S. 479 und Bd. II. S. 107.

†††) Gilb. Ann. d. Phys. Bd. I. S. 482 u. Bd. II. S. 112.

††††) Journ. de Paris par Roederer et Coranvey, 2 Pluviose, An VII. Deutsch: Gilb. Ann. d. Phys. Bd. I. S. 487.

†††††) Journ. polytechnique. Cah. 1. Paris, An III. p. 123. Deutsch: Gilb. Ann. d. Phys. Bd. I. S. 493.

*†) Gilb. Ann. d. Phys. Bd. II. S. 118 u. 366.

**†) Gilb. Ann. Bd. XLVI. S. 119.

Richter *), Tralles **). Aus der neueren Zeit haben wir die Untersuchungen von Thomson ***), Bischof und Wöllner ****) und Karsten *****) anzuführen.

Wir stellen hier einige der brauchbareren Kältemischungen mit Angabe der Temperaturabnahme zusammen.

Mischungen von Salzen und Wasser	Temperaturabnahme
Salpetersaures Ammoniak, Wasser, gleiche Theile	von + 10° bis — 15,5° C.
Salpetersaures Ammoniak, Kohlensaures Natron, Wasser, gleiche Theile	von + 10° bis — 13,8° C.
Salmiak, 5 Theile Salpeter, 5 Theile Wasser, 16 Theile	von + 10° bis — 12,2° C.
Salmiak, 5 Theile Salpeter, 5 Theile Glaubersalz, 8 Theile Wasser, 16 Theile	von + 10° bis — 15,5° C.
Salpeter, 10 Theile Salmiak, 32 Theile Chlorkalium, 57 Theile Wasser, 40 Theile	von + 10° bis — 12° C.
Schwefelcyankalium, Wasser, gleiche Theile	von + 18° bis — 21° C. †).
Glaubersalz, 8 Theile Rohe starke Salzsäure, 5 Theile	von + 10° bis — 17° C.
Glaubersalz, 3 Theile Scheidewasser, 2 Theile	von + 10° bis — 16° C.
Glaubersalz, 5 Theile Verdünnte Schwefels. von 36° B., 4 Th.	von + 10° bis — 16° C.
Glaubersalz, 3 Theile Salmiak, 2 Theile Salpeter, 1 Theil Scheidewasser, 2 Theile	von + 10° bis — 12° C.
Glaubersalz, 6 Theile Salpetersaures Ammoniak, 5 Theile Scheidewasser, 4 Theile	von + 10° bis — 10° C.

*) Stöchiometrie 1, 2, 87.
**) Gilb. Ann. d. Phys. Bd. XXXVIII. S. 365.
***) Records of general science. Vol. IV. p. 40. Deutsch: Journ. f. prakt. Chem. Bd. XIII. S. 176.
****) Schweigger's Journ. f. Phys. und Chem. Bd. LII. S. 370.
*****) Schriften der Berl. Akad. 1841.
†) Marchand in Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXII. S. 499.

Mischungen von Salzen mit Säuren	Temperaturabnahme.
Phosphorsaures Natron, 9 Theile Scheidewasser, 4 Theile	von + 10° bis — 10°, nach Berzelius *) bis — 24° C.
Salzsäure, Schwefelsaures Zinkoxyd, gleiche Theile	von + 10° bis — 7° C. **).

Eines der gebräuchlichsten Mittel hohe Kältegrade künstlich zu erzeugen, ist das Chlorcalcium, das in großen Mengen leicht und billig beschafft werden kann. Man wendet es im krystallisirten Zustande an mit Wasser, Schnee oder gestoßenem Eise. Am besten erhitzt man es so lange, bis alles Krystallwasser verjagt worden ist und es nun eine trockene, aufgeschwollene und poröse Masse bildet, die man ganz fein pulvert und durchsiebt. In diesem Zustande nimmt es das ganze Krystallwasser aus der Luft leicht wieder auf. Man mischt es mit $^1/_2$, $^2/_3$, höchstens dem gleichen Theile Schnee. Wendet man hierbei die oben angegebenen Vorsichtsmaßregeln an und operirt man mit wenigstens 10 bis 15 Pfunden, so läßt diese Mischung nichts zu wünschen übrig. In kalten Wintern hat man auf diese Art bis zu 60 Pfund Quecksilber zum Gefrieren gebracht. Operirt man nur mit kleinen Mengen, jedoch nicht unter einem Pfunde, so thut man gut, sogleich eine zweite Mischung bei der Hand zu haben, und den bereits erkalteten Körper in diese hineinzulegen, wenn die Wirkung der ersten nachläßt. Selten schlägt es fehl, daß das Quecksilber nicht schon in der zweiten Mischung schnell erstarren sollte.

Ueber die Wirkungen der Kältemischungen, wenn man statt des Wassers Schnee oder zerstoßenes Eis (einen Theil) anwendet, giebt Gmelin ***) folgende Angaben:

Mit			Temperaturabnahme von		bis
Mit	$^1/_3$	verdünnter Schwefelsäure (4 Th. auf 1 Th. Wasser)		0°	— 32,5°.
"	1	" "	"	— 7°	— 51°.
"	$^1/_2$	" Salpetersäure	"	— 23°	— 49°.
"	1	" "	"	— 17,8°	— 43°.
"	$1^1/_3$	krystallisirtem Kali	"	0°	— 28°.
"	$^1/_2$	Kochsalz	"	17,8°	— 20°.5.
"	1	"	"	0°	— 17,8°.
"	$^1/_2$	Chlorcalcium	"	— 9°	— 42,5°.
"	$1^1/_3$	"	"	0°	— 49°.
"	2	"	"	— 17,8°	— 54,4°.
"	3	"	"	— 40°	— 58°.

Der Grund, warum die leicht löslichen Salze mit Schnee eine größere Kälte hervorbringen, als mit Wasser, ist ein doppelter; hier wird nicht allein das Salz,

*) Lehrb. d. Chem. 4. Aufl. Bd. I. S. 65.

**) Diese Zusammenstellung ist zumeist aus Thénard, Traité de Chimie. 2 Ed. T. II. p. 300 entnommen. Die Angaben rühren zumeist von älteren Forschern her und deshalb spricht Thénard Zweifel gegen die Richtigkeit einiger derselben aus.

***) Handbuch der Chemie. 4. Aufl. Bd. I. S. 265.

sondern auch das feste Wasser flüssig. Temperaturen, wie diese, können nicht mehr mit einem Quecksilberthermometer gemessen werden, da dieses Metall sich bereits von — 30° an sehr unregelmäßig zusammenzieht. Man bedient sich hier der Weingeistthermometer.

Marchand bringt *) die Anwendung von Weingeist und Schnee als Kältemischung wieder in Erinnerung. Der Schnee schmilzt hier sehr schnell, und da das Gemisch nicht gefriert, bewirkt es eine sehr niedrige Temperatur. Zuerst wurde solches bemerkt von Tralles **) und vom Apotheker Kindt. Dieses bequeme und wenig kostspielige Mittel, aus dem sich der Alkohol mit weniger Unbequemlichkeit durch Destillation wieder gewinnen läßt, als die sonst gebräuchlichen Salze durch Abdampfen, war ganz wieder in Vergessenheit gerathen. Bei den Versuchen von Tralles fiel das Thermometer bei gewöhnlichem Alkohol bis auf — 30° und bei absolutem bis fast auf — 37° C. Weniger günstig der kleinen Mengen wegen, fielen die Versuche aus, welche Karsten auf Veranlassung von Marchand anstellte. Es wurden hier 100 Grm. Weingeist von 0° C. mit 50 Grm. Schnee von gleichfalls 0° gemischt und schnell umgerührt. Die Resultate waren folgende:

Alkohol	von	20%	Richter,	Temperaturabnahme	von	8° C.
"	"	30 "	"	"	"	12° C.
"	"	40 "	"	"	"	15° C.
"	"	50 "	"	"	"	16,5° C.
"	"	60 "	"	"	"	18° C.
"	"	70 "	"	"	"	20° C.
"	"	99 "	"	"	"	21° C.

Bei gleichen Theilen Alkohol und Schnee war die Temperaturabnahme durchgehends ungefähr um einen Grad größer. Die höchsten Kältegrade erlangt man bei Anwendung der comprimirten Gase, besonders der festen Kohlensäure und des Stickstoffoxyduls; doch hiervon soll in dem Artikel Verdunstungskälte die Rede sein.

Weniger Anwendung finden wohl die Kältemischungen aus Metallen und Quecksilber. Hierüber sind namentlich von Orioli ***) und Döbereiner ****) Versuche angestellt. Die festen Amalgame von Blei — 204 Th. aus 103 Th. Blei und 101 Th. Quecksilber — und Wismuth — 172 Th. aus 70 Th. Wismuth und 101 Th. Quecksilber bestehend, — schmelzen, wenn sie gepulvert mit einander gemischt werden; das Thermometer fällt dabei von + 20° auf — 1°. Setzt man dann noch 202 Th. Quecksilber hinzu, so findet eine Temperaturabnahme um weitere 7° statt. Orioli erzielte durch das Vermischen dieser beiden Amalgame eine Erkältung von 22°. Beim Auflösen eines Gemenges aus fein zertheiltem Zinn (59 Th.), Blei (103,5 Th.) und Wismuth

*) Journ. für prakt. Chemie. Bd. XXV. S. 253.

**) A. a. O.

***) Nuov. Collez. di Op. scient. 1823. p. 104. Ferusac, Bullet. des sc. math. phys. et chim. 1825. p. 117.

****) Schweigger's Journ. f. Phys. u. Chem. Bd. XLII. S. 182.

(182 Th.) in 808 Th. Quecksilber sank das Thermometer von + 17,5° bis auf — 10°.

Gay-Lussac und Karsten haben beobachtet, daß in einigen Fällen auch bei dem Vermischen zweier Flüssigkeiten, selbst wenn zu gleicher Zeit dabei eine Verdichtung eintritt, eine geringe Temperaturabnahme erfolgt. Nach ersterem beträgt die Temperaturerniedrigung beim Vermischen von 44 Th. einer gesättigten Lösung des salpetersauren Ammoniaks in Wasser (spec. Gew. = 1,302) mit 34 Th. Wasser von 16° C. 5°. Karsten erhielt bei seinen Versuchen folgende Resultate. Mit gleich viel Wasser giebt eine gesättigte Lösung

von Chlorkalium eine Erkältung von 0,75°
» Kochsalz » » » 0,56°
» Salpeter und salpetersaurem
Natron. . . . . . . » 1,25°.

Mischt man die Lösungen folgender Salze zu gleichen Theilen mit einander, so betragen die Temperaturabnahmen bei Salmiak und Salpeter 0,62°; bei schwefelsaurem Kali und Salpeter 0,44; bei Chlorbaryum und Zinkvitriol 2°; bei Salmiak mit überschüssigem Kupfervitriol 1,6°.

Von den Resultaten, die man bei der Anwendung solcher Kältemischungen erzielte, wollen wir die wichtigsten hier anführen. Von dem Quecksilber glaubte man früher, daß es gar nicht gefriere. Wohl bemerkte Gmelin auf seiner Reise in Sibirien, daß das Quecksilber im Thermometer gefroren sei, doch schrieb er dies anderen Umständen zu. Zum ersten Male brachte es Braun*) in Petersburg 1759 durch eine Mischung von Schnee und rauchender Salpetersäure zum Erstarren, eine Thatsache, die so große Aufmerksamkeit erregte, daß die königliche Gesellschaft in London Hutchins, Gouverneur des Albany-Forts in der Hudsons-Bay, auftrug, diesen Versuch zu wiederholen. Es gelang ihm dies 1775 zwei Mal. Und endlich zeigte Walker 1788, daß das Quecksilber selbst im Sommer und in dem heißesten Klima mittelst der Kältemischungen auf das Leichteste zum Erstarren gebracht werden könne. Wendet man bei diesen Versuchen große Mengen des Metalles an, so daß im Innern noch ein Theil flüssig bleibt, so findet man nach dem Ausgießen desselben auch hier wie beim Schwefel, Antimon, Wismuth ꝛc. deutlich ausgeprägte Krystalle (Octaëder). Die große Zusammenziehung, welche das Quecksilber im Augenblick der Erstarrung erleidet, gab Braun Veranlassung, den Gefrierpunkt desselben auf — 213° C. zu setzen, während Hutchins**) durch eine große Reihe von Versuchen den wirklichen Erstarrungspunkt genau bestimmte. Kühlt man Amboß und Hammer gleichfalls bedeutend ab, so läßt sich das gefrorne Quecksilber stark ausdehnen. Hält man es einige Zeit fest in der Hand, so fühlt man denselben Schmerz, wie beim Verbrennen. Die Berührungsstelle wird weiß, unterläuft nachher roth und schmerzt mehrere Tage. — Salpetersäurehydrat wird bei — 40° C. fest; mit der Hälfte seines Gewichtes Wasser verdünnt gefriert es aber schon bei — 17° C. Setzt man aber noch ein wenig Wasser mehr hinzu, so sinkt der Gefrierpunkt wieder

*) De admirando frigore artificiali, quo mercurius est congelatus. Petrop. 1760.
**) Phil. trans. Vol. LXXIII. P. II.



unter — 40° C. — Rauchende Salpetersäure schießt bei — 40° in rothen Nadeln an und verwandelt sich in eine Art von Butter. — Concentrirte Salzsäure soll nach Fourcroy und Vauquelin gleichfalls bei — 42° leicht in gelben Körnern erstarren. Stark gesättigte Ammoniakflüssigkeit schießt nach der Beobachtung derselben Chemiker bei — 42° in weißen Nadeln an und verliert dabei theilweise den Geruch. Bei — 47° oder 49° soll sie sich in eine gallertartige Masse verwandeln. Getrocknetes Ammoniakgas wird bei — 40° zu einer farblosen, leicht beweglichen Flüssigkeit verdichtet, die bei noch höheren Kältegraden zu einer weißen, krystallinischen durchsichtigen Masse erstarrt. Wegen der geringen Tension bei dieser niedrigen Temperatur läßt sich kein Geruch wahrnehmen.

Fourcroy und Vauquelin geben zwar an, daß gut rectificirter Aether bei — 44° in weißen glänzenden Blättern krystallisire und bei noch stärkerer Kälte zu einer krystallinischen Masse erstarre, aber nach Thenard ist der Aether noch bei — 50° flüssig, nach Bussy wird er sogar bis — 50° noch nicht fest und nach Hitschel bleibt er selbst bei — 98°,9 unverändert. Es ist daher wahrscheinlich, daß der Aether bei den ersteren Chemikern doch nicht ganz wasserfrei war. — Alkohol gefriert bei den Temperaturen, die durch die eben angeführten Gemische erzielt werden, ebenfalls nicht.

Taucht man den Finger in eine solche Kältemischung, so fühlt man nach Fourcroy und Vauquelin einen Schmerz gleich einem heftigen Drucke im Schraubestock. In 4 Secunden wurde der Finger so weiß, wie Schnee, er war ohne Empfindung und ließ sich nur mit Mühe wieder ins Leben bringen.

In der Wissenschaft werden die Kältemischungen häufig angewendet bei der Destillation sehr flüchtiger Körper zum Abkühlen der Kolben und Röhren, dann namentlich beim Ueberführen verschiedener Gase in den flüssigen Zustand und namentlich um das Verhalten der einzelnen Körper in der Kälte zu zeigen und zu studiren. Auch im gewöhnlichen Leben finden sie Anwendung. In Conditoreien und Haushaltungen bereitet man künstlich wohlschmeckendes Eis aus Milch, der Zucker, Fruchtsäfte, Gewürze &c. zugesetzt werden, dadurch, daß man dieses Gemisch in zinnernen Büchsen in gestoßenes Eis und Kochsalz stellt und rasch umdreht, um die Bildung größerer Krystalle beim Festwerden zu verhindern. Auch in der Medicin bedient man sich der Kältemischungen als Ersatzmittel des Eises bei verschiedenen Krankheiten, namentlich des Gehirnes. Doch hat die Anwendung hier mancherlei Nachtheile und oft ist sie der Säuren und Salze wegen ganz zu unterlassen. Daher hat man namentlich in Frankreich, wo nicht alle Jahre die Eiskeller gefüllt werden können, durch wiederholte Preisfragen der Société d'encouragement dazu aufgefordert, viele Versuche angestellt, um Wasser auf künstlichem Wege und mit wenig Kosten gefrieren zu machen und so der Haushaltung und der Medicin die Annehmlichkeiten des Eises zu verschaffen. Es sind zu diesem Zwecke eine Menge von Verfahren und Apparaten angegeben worden, von denen wir die hauptsächlichsten erläutern wollen.

Malapert *) hat einen einfachen Apparat beschrieben, in welchem er Eis

*) Ann. der Pharmac. Bd. XVIII. S. 351.

erzeugte, während derselbe in kochendes Wasser tauchte, — ein Versuch, der in sofern interessant ist, als er zeigt, daß man bei jeder niedrigeren Temperatur um so leichter denselben Zweck erreichen muß. Bei folgendem Verfahren kann man das Eis schnell und in großer Menge bereiten. Man nimmt eine 15″ hohe, 12″ lange und 8″ breite Schachtel, am besten von weißem Pappelholz, welche inwendig, 6‴ vom Rande mit einem Drahtnetz versehen ist. In das Drahtnetz paßt eine zweite Schachtel von Blech, die 12″ hoch, 6″ lang in der Oeffnung, 5″ unten, 3″ breit oben und etwas schmäler nach unten ist. Den Raum zwischen Netz und Rand füllt man mit Baumwolle aus. Auf diese Schachtel paßt ein ähnlich construirter und ausgefütterter doppelter Deckel. Das Wasser, das in Eis verwandelt werden soll, bringt man in zwei Büchsen von Blech, die 12″ hoch, oben 4″ 8‴ lang, nach unten etwas kürzer werdend, und an der Oeffnung 7‴, unten aber 5‴ breit sind. Alle Theile des Apparates überzieht man mit einem Firniß aus Sandarak (3 Th.), Terpentin und Alkohol von 36° (von jedem 8 Th.), um ihn gegen die Säure zu schützen.

Zur Füllung der Schachtel braucht man 6 Pfund 12 Unzen Glaubersalz und $4^1/_2$ Pfund Schwefelsäure von 45°. In jede der Büchsen bringt man ein Pfund Wasser, das, wenn man 2 bis 3 Mal schnell öffnet und das Gemenge umrührt, in 40 Minuten gefroren ist. In der einen Büchse kann man noch einmal in derselben Mischung $^1/_2$ Pfund Wasser in Eis verwandeln. Nimmt man nur eine Büchse von der doppelten Breite, so gefrieren die zwei Pfund Wasser erst in beinahe zwei Stunden, wegen der Dicke aber widersteht die Eismasse länger dem Schmelzen. — Mit 8 Büchsen, also in vier solchen Apparaten, erhält man in 45 Minuten 10 Pfund Eis.

Zur Versendung des Eises bedient man sich nach Malapert am besten einer ovalen Schachtel von Eisenblech, welche 14″ lang, im größten Durchmesser $5^1/_2$″ und im kleinsten 2″ breit ist. Diese setzt man in eine größere Schachtel von Pappe, welche mit Filz ausgefüttert ist. Zwischen die doppelten Deckel legt man Kissen von Baumwolle und überzieht das Ganze außen 5 bis 6 Mal mit Firniß. Bei einer Temperatur von + 15° waren 2 Pfunde Eis hierin erst nach 38 Stunden vollständig geschmolzen. Bei einem zweiten Versuch trug man $1^1/_2$ Pfund Eis darin $10^3/_4$ Stunden lang in einer Sonnenhitze von + 28° herum, während welcher Zeit die Schachtel siebenmal geöffnet und $4^1/_2$ Unze Eis herausgenommen wurden. Nach Verlauf der angegebenen Zeit fand man noch 2 Unzen Eis vor. — Die Schachtel faßt aber 4 bis 5 Pfund Eis; ist sie daher ganz gefüllt, so hält sich der Inhalt verhältnißmäßig noch viel länger.

Boutigny*) erhielt mit 14 Pfd. einer Kältemischung — aus 12 Th. Schwefelsäure von 41° B. und 16 Th. Glaubersalz bestehend, — deren Bestandtheile eine Temperatur von + 10° C. zeigten und die er in 2 Theilen nach einander anwandte, in 40 bis 50 Minuten 3 Pfund Eis. Er macht hierbei auf einen wichtigen Handgriff aufmerksam, ohne den das Wasser nur sehr schwierig gefriert. Er drückt die Seitenwände der dünnen, schmalen, vierseitigen und hohen Blechbüchsen, die in einen hölzernen, die Kältemischung enthaltenden Eimer gestellt

*) Dingler's polytechnisches Journal. Bd. XCI. S. 209.

werden, durch eine eiserne Klammer zusammen und entfernt diese, sobald ein Theil des Wassers gefroren ist. Dadurch kommt neues Wasser mit den Wandungen in Berührung und gefriert vollständig, wenn man die Büchsen von Neuem in eine Kältemischung stellt.

Bei dem zunehmenden Verbrauch des Eises nicht nur für den Luxus der Tafel, sondern auch zum Conserviren der Nahrungsmittel und für ärztliche Zwecke stellte die Société d'encouragement 1846 abermals einen Preis für einen Apparat, der auf eine schnelle, wohlfeile und einfache Weise das Wasser gefrieren mache. Allen diesen Bedingungen entsprach ein Apparat von Goubaud *). Der Ausschuß der Gesellschaft ist der Meinung, daß dieser Apparat nicht nur in Haushaltungen, sondern auch am Bord der Schiffe vielfach in Gebrauch kommen und auch bald nicht mehr im Koffer des Touristen fehlen werde. Goubaud wendet hierbei sieben um eine Axe senkrecht von einander getrennt aufgestellte Büchsen aus reinem, sehr dünnen Zinn an, die oben in einer gemeinschaftlichen Dose enden und mit einem gemeinschaftlichen Deckel verschlossen, in dem die Kältemischung enthaltenden Eimer stehen. Senkrecht auf die Axe, die Büchsen schraubenförmig umgebend, ist ein breiter Blechstreifen angelöthet, der beim Umdrehen als Rührer für die Kältemischung dient. Die Anordnung des ganzen Apparates wird durch die nebenstehende, leicht verständliche Zeichnung anschaulich gemacht. Ein solcher Apparat kostet 10 Thaler. Als Kältemischung dienen hier Ammoniaksalze, die jedoch nicht näher bezeichnet werden; wahrscheinlich salpetersaures Ammoniak, und Salmiak. 5 Pfund derselben, zu einem Preise von $2^1/_2$ Thalern, mit 10 Pfund Wasser gemengt, sollen 1 Pfund Eis innerhalb 15 Minuten liefern und bei Wiedergewinnung der Salze sollen die Productionskosten des Eises nur $2^3/_4$ Neugroschen betragen.



Wohlfeiler ist der von Filhol **) construirte Apparat. Er kostet nur 16 Francs. Die Axe zweier in einander stehender zinnerner Cylinder paßt in eine am Boden des die Kältemischung enthaltenden Fäßchens befindliche Höhlung. Das zu gefrierende Wasser befindet sich in dem durch die beiden Cylinder gebildeten ringförmigen Raume. Mittelst einer auf der Axe befestigten Kurbel läßt sich der

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CII. S. 223.
**) Journ. de chim. méd. 1846. Novbr. p. 669.

Cylinder, an dem noch eine Rührvorrichtung angebracht ist, in eine schnelle rotirende Bewegung versetzen. Um das Eis leicht aus dem Cylinder entfernen zu können, läßt man einen kleinen, mit zwei Metallstangen verbundenen Blechreif in das Wasser hinab. Als Kältemischung wendet man hier 800 Grm. Glaubersalz und 500 Grm. Salzsäure oder salpetersaures Ammoniak und Wasser von jedem 1 Kilogrm. an. Jede Operation erfordert 3 Portionen der Mischung und liefert 1 Kilogrm. Eis.

Fumet fertigt seinen bereits Bd. II. S. 615 beschriebenen Apparat in verschiedenen Größen und daher auch zu verschiedenen Preisen an. Ein solcher, der 1 Kilogrm. Eis liefert, kostet 10 Francs, der Gefrornes und Sorbets für 10 Personen liefert, 15 Frcs.; Apparate, die das Doppelte leisten, kosten resp. 15 und 20 Frcs. Ein Kilogramm der Kältemischung kostet 60 Cent. und ein Kilogramm Eis 1 Franc 20 Cent. Trotz dieser hohen Preise sollen die Resultate für die Haushaltungen wenigstens eben so vortheilhaft sein als mit den Apparaten und nach dem Verfahren der Conditoren in Paris, welche zu ihrer Kältemischung das Kilogramm Eis mit 20 Cent. und den Salpeter mit 30 Cent. bezahlen.

In Frankreich sind dergleichen Apparate vielfach in den Gebrauch gekommen. Aber bei alledem scheint es nach den hier erörterten Kosten, daß die künstliche Eisbereitung in nördlichen Gegenden, wo der Winter einen hinreichenden Vorrath an Eis liefert, stets theurer bleiben wird, als die Anlegung zweckmäßiger Eiskeller. Für südlichere Gegenden hingegen, in denen bei der größeren Hitze Gefrornes ein dringenderes Bedürfniß ist, wie bei uns, gewähren diese Apparate bedeutende Annehmlichkeiten.

Bolley macht *) auf einen eigenthümlichen Vorgang bei der Kältemischung aus Glaubersalz und Salzsäure, die der geringen Kosten wegen häufig verwendet wird, aufmerksam. Mischt man beide zusammen und fehlt es nicht an Säure; so wird die anfangs glasdurchsichtige Masse milchig weiß, von kleinen Körnern eines ausgeschiedenen Salzes, das nach dem Abwaschen als fast reines Kochsalz erkannt wurde, während die Lösung doppelt schwefelsaures Natron enthielt. Wendet man statt der Salzsäure Salpetersäure an, so erhält man salpetersaures Natron, jedoch nicht in so reichlichen Mengen wie das Kochsalz. Erwärmt man das Gemisch von Glaubersalz und Salzsäure, so löst sich das Kochsalz auf und schießt beim langsamen Erkalten in großen, sehr regelmäßigen Würfeln an. Beim fortgesetzten Erwärmen dampft erst überschüssige Salzsäure und Wasser ab und es bedarf einer stärkern Concentration und Hitze, um das Kochsalz wieder zu zerlegen.

Dieser Vorgang ist sehr gut geeignet, um in Vorlesungen die Gregory'sche Vorschrift zur Darstellung der Salzsäure **) zu rechtfertigen. Er zeigt direct, daß aus freier Salzsäure und Glaubersalz doppeltschwefelsaures Natron und Kochsalz gebildet wird. Eben diese Bildung veranlaßt aber die Anwendung eines doppelten Mischungsgewichtes an Schwefelsäure auf ein Mischungsgewicht Kochsalz. W. B.

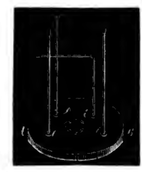
---

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXV. S. 241.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLII. S. 375.

Kaleidophon (v. d. griech. καλός, schön, εἶδος, Gestalt und φωνέω, ich töne), auch phonisches Kaleidoskop (s. Art. Kaleidoskop) genannt, ist ein von Wheatstone *) angegebenes Instrument, bei schwingenden Körpern, — an einem Ende festgehaltenen, am anderen Ende freien Stäben — die Bahnen der Punkte der größten Ausbiegung sichtbar zu machen.

Der Apparat (s. beistehende Figur) besteht aus einer kreisförmigen Basis von Holz AB, etwa 9 Zoll im Durchmesser und einen Zoll dick, mit vier messingenen Schraubenmuttern, die bei C, D, E und F fest eingesetzt sind. In diese Muttern schraubt man vier senkrechte Stahlstäbe von 13 bis 14 Zoll Länge und etwa 0,1 Zoll Dicke. Der Stab bei C ist rund und gerade, der bei E ist rechtwinkelig gebogen, und beide tragen an ihren Enden etwa 0,4 Zoll im Durchmesser haltende, mit Quecksilber inwendig belegte Glaskügelchen. Der Stab bei D ist vierkantig und trägt eine bewegliche, schief oder lothrecht stellbare, ebene Platte, welche auf geschwärzter Fläche verschiedenfarbige, symmetrisch geordnete Knöpfe trägt. Der Stab F ist rund, wie der in C, aber von anderem Durchmesser und trägt entweder ein Glaskügelchen wie der Stab C, oder eine Platte, wie der Stab D.



Setzt man einen der Stäbe durch einen mit Leder überzogenen Hammer oder durch einen Violinbogen in Schwingungen, so bildet der Endpunkt, indem er das darauf fallende Licht reflectirt, und da der Eindruck im Auge länger dauert, als die Schwingung Zeit erfordert, stetige, in sich zurückkehrende Lichtlinien, die sich unablässig verändern. Jeder verschiedene Stab giebt eine verschiedene Linie, und eben so derselbe Stab, je nach der Stelle, an welcher er angeschlagen oder gestrichen wird. Am besten gelingt der Versuch im Sonnenlichte, welches man durch eine Oeffnung im Fensterladen einfallen läßt, weil dies intensiv ist und dann das Auge von keinem anderen Lichte afficirt wird. Die zusammengesetztesten Curven erhält man an den Stäben, welche eine schrägstehende Platte mit mehreren reflectirenden Punkten tragen, zumal wenn der Stab nicht blos nach seiner ganzen Länge, sondern auch nach kürzeren Abtheilungen schwingt.

Kaleidoskop (v. d. griech. καλός, schön, εἶδος, Gestalt und σκοπέω, ich sehe), Schönguцker, ist ein von Brewster **) im Jahre 1817 erfundenes Spielwerk, auf welches er sogar ein Patent löste, das ihm bedeutende Vortheile einbrachte.

Zwei ebene rechteckige Spiegel werden unter einem Winkel, welcher $^1/_6$, $^1/_8$, $^1/_{10}$ rc. von 4 Rechten beträgt, an die innere hohle Seite eines aus Pappe oder aus verzinntem Bleche gefertigten Rohres von 8 bis 10 Zoll Länge befestigt, so daß die Spiegelflächen einander entgegenstehen. Die eine (obere) Oeffnung des

*) Pogg. Ann. Bd. X. S. 470; Schweigger's Journ. Bd. L. S. 490; Quarterly Journal of Science. New Ser. T. II. p. 344.

**) Gilbert's Ann. Bd. LIX. S. 347.

Rohres ist bis auf eine kleine kreisrunde Oeffnung, welche beim Gebrauche des Instrumentes vor das Auge gebracht wird, verschlossen. Am anderen Ende des Rohres befindet sich dicht an den nicht ganz bis an das Ende des Rohres reichenden Spiegeln ein helles, ebenes, rundes, das Rohr verschließendes Glas und in geringem Abstande von diesem Glase ist parallel mit demselben noch ein zweites, mattgeschliffenes, ebenes Glas, welches das Rohr an diesem Ende schließt, angebracht. Zwischen beide, etwa eine Linie von einander abstehende Gläser werden allerhand kleine, am besten bunte, durchsichtige oder durchscheinende Körper gebracht, welche nun beim Drehen und leisen Schütteln des Instrumentes verschiedene Lagen gegen einander einnehmen. Das Auge, welches durch die angegebene Oeffnung sieht und das Rohr gegen das Tageslicht kehrt, erblickt bei jeder Lage der Körperchen die regelmäßigsten, bald vom Mittelpunkte ausgehende, bald vom äußeren Umfange nach diesem hin sich erstreckende Sterne.

Die beiden Spiegel verfertigt man am zweckmäßigsten aus ebenen reingeschliffenen Glasplatten, deren Hinterfläche schwarz lackirt ist. Gewöhnliche Spiegel, deren Hinterfläche belegt ist, geben, wenn der Gegenstand dem Glase sehr nahe steht und das Auge unter einem sehr kleinen Winkel zur Glasfläche gerichtet ist, was Beides hier eintritt, doppelte Bilder durch die Reflexion an der Vorder- und Hinterseite, wodurch die Erscheinungen am Kaleidoskop verundeutlicht werden; die angegebenen geschwärzten Spiegel thun dies nicht, die von ihnen gegebenen Bilder sind aber dafür freilich etwas matter als bei belegten Spiegeln *).

Die Entstehung dieser Sterne ergiebt sich durch folgende Betrachtung. Befindet sich ein Körper zwischen zwei geneigten Spiegeln, so giebt er in jedem derselben ein Bild, welches hinter dem einen und dagegen vor dem anderen liegt und folglich für letzteren ein wahrhafter Gegenstand ist. Daraus folgt in diesem Spiegel ein zweites Bild, welches in dem ersten ein drittes Bild geben kann und so fort. Allein diese Bilder entfernen sich immer mehr und mehr von dem Gegenstande und fallen endlich in den Gegenwinkel (Scheitelwinkel) der Spiegel, also hinter jeden derselben, sie werden mithin unwirksam, d. h. unfähig andere zu liefern. Diese einfache Bemerkung zeigt sogleich, daß, wie auch der Winkel der Spiegel sein möge, die Anzahl der Bilder nothwendig eine begrenzte ist. Umstehende Figur wird dies noch anschaulicher machen. Es seien AB und BC die unter 60° geneigten Spiegel und in 1 befinde sich ein Gegenstand zwischen denselben. Da bei einem ebenen Spiegel das Bild eben so weit hinter demselben

*) Ein wahres Prachtexemplar eines Kaleidoskops hat der Bearbeiter dieses Artikels bei Herrn Prof. Dove in Berlin zu sehen Gelegenheit gehabt. Auf einem Dreifuße stand das Rohr, wie ein Fernrohr; dasselbe mochte 4 Zoll im Durchmesser halten und 9 bis 10 Zoll lang sein. Die Spiegel waren durch eine Mikrometerschraube verstellbar, und der die Objective enthaltende Raum konnte mittelst in einandergreifender Räder durch einen nach dem Ocularende gehenden Griff für sich gedreht werden, ohne die Stellung des Rohres, also der Spiegel, zu verändern. Die Objecte waren verschiedenfarbige, in regelmäßige Formen geschliffene Gläser: Dreiecke, Quadrate, Halbmonde u. dergl., außerdem befanden sich unter ihnen Glasstäbchen, welche wellenförmig gebogen waren u. s. f. Der Effect war wundervoll, da man die Stellung der Spiegel und die Lage der Objecte so leicht ändern konnte, und wurde noch erhöht durch einen Spiegel, welcher neben dem Objectende angebracht war und so gestellt werden konnte, daß reflectirtes Licht auf die Objecte fiel. Die Sterne zeigten alsdann den schönsten Brillantglanz.

liegt, wie der Gegenstand vor demselben steht, so erhalten wir ein Bild hinter A B in 2, wenn Perpendikel d 2 = d 1 ist, eben so ein Bild hinter B C in 3, wenn e 3 = e 1 ist; das Bild 2 wirkt wie ein Gegenstand auf den Spiegel B C und giebt ein Bild 4, wenn f 4 = f 2 ist, eben so giebt Bild 3 in dem Spiegel A B ein Bild 5, wenn g 5 = g 3 ist; das Bild 4 giebt wiederum ein Bild in dem Spiegel A B in 6, wenn h 6 = h 4 ist und eben so das Bild 5 in dem Spiegel B C ebenfalls ein Bild in 6, wenn k 6 = k 5 ist. Nun läßt sich leicht zeigen, daß die Bilder 2, 3, 4, 5, 6 auf einem Kreise um den Mittelpunkt B liegen, dessen Halbmesser = B 1 ist, da B 1 = B 2 = B 3 ꝛc. sein muß, ferner daß die von 4 und 5 entstandenen Bilder für $< ABC = 60^0$ zusammenfallen müssen. Nun liegt aber das Bild 6 sowohl hinter dem Spiegel A B als hinter B C, folglich kann dies Bild 6 keine neuen Bilder weiter erzeugen, so daß bei so gestellten Spiegeln das Auge den Gegenstand sechsmal sehen würde, nämlich 5 Bilder und ihn selbst einmal. Bei einem Winkel von 30⁰ würde man 11 Bilder erhalten und den Gegenstand also 12 Mal sehen. Läge nun ein kleiner Körper dicht an dem Spiegel A B, so läge auch sein Bild dicht an der Hinterfläche von AB, Bild und Gegenstand würden einen einzigen Sternzacken bilden; eben so würden Bild 3 und 4 dicht neben einander liegen und einen zweiten Zacken bilden; wir sehen also, daß sich der Gegenstand mit seinen 11 Bildern zu einem sechszackigen Sterne zusammensetzen würde. Ein Winkel A B C = 15⁰ würde eben so einen zwölfzackigen Stern bilden u. s. f.



Ueberhaupt wenn zwei ebene Spiegel unter irgend einem Winkel zusammengestellt sind, so ist die Anzahl der durch dieselben erzeugten Bilder eines zwischen ihnen befindlichen leuchtenden Punktes L im Allgemeinen von der Größe des Winkels und von der Lage des Punktes zwischen den beiden Spiegeln abhängig. Bezeichnet man den Winkel der Spiegel mit $\varphi = \frac{\pi - \psi}{n}$ oder $\pi = n\varphi + \psi$, wo n eine ganze Zahl, ψ positiv und $< \varphi$ ist, und vorausgesetzt wird, daß $\varphi < \pi$, da für den Fall $\varphi > \pi$ gar keine Schwierigkeit obwaltet, so ist die Anzahl der Bilder, den leuchtenden Punkt eingerechnet,

$$= 2n, \text{ oder } = 2n + 1, \text{ oder } = 2n + 2, \text{ oder } = 2n + 3.$$

Für jeden besonderen Werth des Winkels φ finden nur zwei dieser Werthe statt, und zwar ist im Allgemeinen, wenn $\psi < \frac{1}{2}\varphi$ ist, die Anzahl der Bilder $= 2n + 1$ oder $= 2n + 2$; und wenn $\psi > \frac{1}{2}\varphi$ ist, $= 2n + 2$ oder $= 2n + 3$; welcher der beiden Zahlen in jedem Falle die Anzahl der Bilder gleich ist, hängt von der Lage des Punktes L ab. — In dem Grenzfalle, daß $\psi = 0$ ist, reducirt sich die Anzahl der Bilder immer auf 2 n, und ist also von der Lage des Punktes zwischen den beiden Spiegeln unabhängig. In dem Grenzfalle $\psi = \frac{1}{2}\varphi$ ist die Anzahl der Bilder $= 2n + 2$ mit Ausnahme des einen

Falles, daß der Punkt L von beiden Spiegeln gleich weit entfernt ist, in welchem sich die Anzahl auf $2n + 1$ reducirt.

Die näheren Bestimmungen sind in Folgendem enthalten. Theilt man den Winkel der beiden Spiegel durch zwei Ebenen, von welchen die eine mit dem einen Spiegel, die andere mit dem anderen Spiegel den Winkel ψ bildet, in drei Theile, so kann man die drei Winkel in zwei äußere und einen mittleren unterscheiden. Liegt der leuchtende Punkt in einem der äußeren Winkel, so ist die Anzahl der Bilder $= 2n + 2$; liegt er in dem mittleren Winkel, so ist sie $= 2n + 1$, wenn $\psi < \frac{1}{2}\varphi$ ist; und $= 2n + 3$, wenn $\psi > \frac{1}{2}\varphi$ ist; liegt er auf der Grenze zwischen einem äußeren und dem mittleren Winkel, so ist die Anzahl der getrennten Bilder $= 2n + 1$, wenn $\psi < \frac{1}{2}\varphi$ ist, und $= 2n + 2$, wenn $\psi > \frac{1}{2}\varphi$ ist. Für $\psi = \frac{1}{2}\varphi$ oder $\psi = 0$ sind die betreffenden Zahlen schon vorher gegeben.

Da der Gegenstand ein Eingehen in die Entwickelung dieser Gesetze nicht nöthig erscheinen läßt, so begnügen wir uns mit dem Hinweis auf die Arbeiten von Gallenkamp *) und Weiß **); eine Abhandlung von Bertin ***) ist nicht erschöpfend. H. E.

Kalender (v. d. lat. Calendae, bei den Römern der Name des ersten Tages eines jeden Monats, und diese Bezeichnung stammt wieder ab von dem griech. *καλέω*, ich rufe, weil an diesem Tage durch einen Priester der Eintritt des Neumondes verkündigt wurde) ist erstens die Zeiteintheilung nach Jahren, Monaten etc., wie sie bei verschiedenen Völkern für das bürgerliche Leben eingeführt ist, zweitens ein dieser Eintheilung gemäßes Register der einzelnen einem bestimmten Jahre zukommenden Tage.

A. Wie die bürgerlichen Verhältnisse die verschiedenen Völker zu bestimmten Zeiteintheilungen hindrängten, wie diese mit der Zeit Verbesserungen nöthig machten, und wir zu dem bei uns gebräuchlichen Gregorianischen Kalender gekommen sind, darüber verweisen wir auf den Art. Jahr. In demselben Artikel ist auch das Nöthige über die Unterabtheilungen des Jahres, die Monate, erwähnt, so daß an dieser Stelle nur in Betreff der Wochen die Bemerkung nöthig sein dürfte, daß diese Unterabtheilung der Monate aus der hebräischen Zeitrechnung herrührt, in welche sie zufolge der religiösen Einrichtungen der Juden kam, wiewohl es auch nicht unwahrscheinlich ist, daß die letzteren von den Aegyptiern diese kürzere Periode annahmen. Die Woche ist ohne allen Zweifel ****) eine Unterabtheilung des synodischen Monates.

B. Ueber den Sonnencyclus, nach dessen Verlauf (28 Jahre) dieselben Monatstage auf dieselben Wochentage fallen, den Mondcyclus, nach dessen Verlauf (19 Jahre) die Mondphasen in derselben Weise, wie bei den früheren Mondcyclen, wiederkehren, die goldene Zahl, welche angiebt, das wievielte Jahr des Mondcyclus ein jedes Jahr sei, den Indictionscyclus

---

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 588.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 148.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 288; Ann. de chim. et de phys. Sér. III. T. XXIX. p. 257.
****) Ideler, Handbuch der Chronologie. Berlin 1830. Bd. I. S. 60.

(15 Jahre) s. d. Art. Cyclus, Bd. I. S. 1016; eben so über die Epakte, die Zahl, welche die Anzahl der Tage angiebt, um welche der letzte Neumond im vorhergehenden Jahre dem Neujahrstage des betreffenden Jahres vorausgegangen ist, s. Art. Epakte, Bd. II. S. 855. Der Sonntagsbuchstabe giebt, wenn alle Tage des Jahres vom ersten bis zum letzten mit A B C D E F G A B rc. bezeichnet werden, den Buchstaben des ersten Sonntages im Jahre an. Im Jahre 1855 ist also im cursirenden Gregorianischen Kalender G der Sonntagsbuchstabe, weil der 7. Januar, d. h. der siebente Tag des Jahres ein Sonntag ist. Im Jahre 1856 fällt der erste Sonntag auf den 6. Januar, so daß der Sonntagsbuchstabe F wird; da aber der Schalttag (24. Februar) — s. Artikel Jahr — wie der 24. Februar jedesmal mit F bezeichnet wird, so rücken die Tage nach dem Schalttage gegen die des gemeinen Jahres um eine Stelle fort, und der Sonntagsbuchstabe wird also für die Tage nach dem Schalttage E. Jedes Schaltjahr hat mithin zwei Sonntagsbuchstaben, und in der Reihe der Jahre springt daher nach jedem Schaltjahre der Sonntagsbuchstabe um 2 Buchstaben zurück, während dies sonst nur um einen Buchstaben geschieht. Der Sonntagsbuchstabe für 1857 wird mithin D sein.

Für das gegenwärtige Jahrhundert gilt folgende Tafel, in welcher die Sonntagsbuchstaben mit den Jahren des Sonnencyclus zusammengestellt sind:

1. E. D.	8. C.	15. A.	22. F.
2. C.	9. B. A.	16. G.	23. E.
3. B.	10. G.	17. F. E.	24. D.
4. A.	11. F.	18. D.	25. C. B.
5. G. F.	12. E.	19. C.	26. A.
6. E.	13. D. C.	20. B.	27. G.
7. D.	14. B.	21. A. G.	28. F.

In dem Gregorianischen Kalender sind die Tafeln für die Sonntagsbuchstaben für die einzelnen Jahrhunderte verschieden, da in je 4 Jahrhunderten 3 Schalttage ausfallen, was im Julianischen Kalender nicht geschieht. (Vergl. Artikel Jahr.)

Das wievielte Jahr eines Sonnencyclus ein gewisses Jahr unserer Zeitrechnung sei, findet man nach der Bd. I. S. 1017 im Art. Cyclus angegebenen Weise. So z. B. ist 1856 das 17. Jahr des Sonnencyclus, da $\frac{1856 + 9}{28}$ als Rest 17 läßt; der Sonntagsbuchstabe desselben folglich F und E, d. h. 1856 ist ein Schaltjahr und da F der sechste Buchstabe ist, so fällt der erste Sonntag auf den 6. Januar. In dem sogenannten (am Schlusse dieses Artikels angehängten) immerwährenden Kalender sind die Monatstage mit den Buchstaben A bis G zusammengestellt, und man weiß nun, daß wenn, wie im Jahre 1855, der Sonntagsbuchstabe G ist, alle Tage des Jahres, bei denen G steht, Sonntage sind, alle Tage, bei denen A steht, Montage u. s. f. Eben so weiß man, daß wenn, wie im Jahre 1856, F und E Sonntagsbuchstaben sind, alle vor dem 24. Februar mit F und alle nach dem 24. Februar mit E bezeichneten Tage Sonntage sind; alle Tage vor dem 24. Februar, bei denen G steht, aber alle nach dem 24. Februar, bei denen F steht, Montage u. s. f.

Mit Hülfe des immerwährenden Kalenders bestimmt man die Neumondstage so, daß man die goldene Zahl des betreffenden Jahres nach der im Art. Cyclus Bd. I. S. 1016 angegebenen Weise sucht, z. B. für 1855 = 13, da $\frac{1855 + 1}{19}$ den Rest 13 giebt, und hierzu aus dem folgenden Epaktentäfelchen (vergl. Art. Epakten) die Epakte nimmt, also für 13 = XII. Alle Monatstage im immerwährenden Kalender, neben denen diese Zahl steht, sind Neumonde, oder die genaue astronomische Bestimmung trifft wenigstens nahe damit zusammen, da es bei dieser auf den Meridian ankommt.

Goldene Zahl	Epakte	Goldene Zahl	Epakte
1 . . .	0 oder *	11 . . .	XX.
2 . . .	XI.	12 . . .	I.
3 . . .	XXII.	13 . . .	XII.
4 . . .	III.	14 . . .	XXIII.
5 . . .	XIV.	15 . . .	IV.
6 . . .	XXV.	16 . . .	XV.
7 . . .	VI.	17 . . .	XXVI.
8 . . .	XVII.	18 . . .	VII.
9 . . .	XXVIII.	19 . . .	XVIII.
10 . . .	IX.		

In Betreff dieser Tabelle bemerken wir, — da im Artikel Epakte dieser Gegenstand keine Erledigung gefunden hat, und der Art. Goldene Zahl, auf welchen dort Bezug genommen wurde, ausgefallen ist — daß dieselbe in folgender Weise ihre Rechtfertigung findet. In den Jahren, deren goldene Zahl 1 ist, fällt bekanntlich der Neumond auf den Neujahrstag, und die Epakte ist dann 0 oder *. Die Epakten der folgenden Jahre sind nun leicht zu bestimmen, wenn man bedenkt, daß ein Mondjahr ungefähr $354^1/_4$ Tag hat, während ein Sonnenjahr $365^1/_4$ Tag zählt (vergl. Art. Jahr), das Sonnenjahr also um 11 Tage länger als das Mondenjahr ist. Um ein Mondenjahr zu einem Sonnenjahre zu ergänzen, müssen (falls beide an demselben Tage angefangen haben) also zu seiner Zahl von $354^1/_4$ Tagen noch 11 Tage hinzukommen, worauf sich auch der Name Epakte bezieht. Das Jahr, welches auf das mit der goldenen Zahl 1 folgt, d. h. jedes Jahr, dessen goldene Zahl 2 ist, hat hiernach die Epakte XI. Jedes folgende Jahr wachsen die Epakten in entsprechender Weise wiederum um 11 Tage, und hiernach entspräche der goldenen Zahl 3 die Epakte XXII., der goldenen Zahl 4 die Epakte XXXIII. Hierbei ist aber zu bedenken, daß innerhalb dieser 33 Tage schon ein Neumond eingetreten ist und zwar am 30. Tage, wir erhalten also statt XXXIII. die Epakte III., nämlich 33 — 30. In dieser Weise ergeben sich die in der Tabelle neben den goldenen Zahlen stehenden Epakten.

Das Osterfest fällt bekanntlich immer auf den ersten Sonntag nach dem ersten Vollmonde, welcher auf die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche folgt. Die Frühlingsnachtgleiche (vergl. Art. Nachtgleiche) ist an dem 21. März. Im Jahre 1855 fällt also der erste Vollmond, der 13 Tage nach dem vorhergehenden Neumonde folgt, auf den 1. April nach dem immerwährenden Ka-

lender (nach Berliner Zeit auf den 2. April 3^h 15′ Nachmittags); der nächstfolgende Sonntag ist also der Ostersonntag und folglich weil der Sonntagsbuchstabe G ist, der 8. April. Da der erste April auch ein Sonntag ist und also nach dem immerwährenden Kalender der Ostervollmond auf einen Sonntag trifft, so macht sich hier zugleich die Regel bemerkbar, daß in einem solchen Falle die Osterfeier bis auf den nächsten Sonntag verschoben wird.

Die übrigen christlichen Festtage richten sich entweder nach dem Osterfeste, oder fallen auf bestimmte Tage.

Ueber die näheren Bestimmungen der Zeit und des Mondumlaufes s. d. Art. Zeit und Mond; über die Literatur findet sich das Wesentlichste im Art. Chronologie, und hier heben wir nur wegen der Anfertigung eines Kalenders noch besonders hervor: J. J. Littrow's Kalendariographie ꝛc. Wien 1828. Schließlich geben wir noch den immerwährenden Gregorianischen Kalender, dessen Einrichtung und Gebrauch nach dem Vorhergehenden keiner weiteren Erläuterung bedarf.

Immerwährender Gregorianischer Kalender.

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
1.	A. *.	D. XXIX.	D. *.	G. XXIX.	B. XXVIII.	E. XXVII.
2.	B. XXIX.	E. XXVIII.	E. XXIX.	A. XXVIII.	C. XXVII.	F. XXVI.
3.	C. XXVIII.	F. XXVII.	F. XXVIII.	B. XXVII.	D. XXVI.	G. {XXV. XXIV.
4.	D. XXVII.	G. XXVI.	G. XXVII.	C. XXVI.	E. XXV.	A. XXIII.
5.	E. XXVI.	A. {XXV. XXIV.	A. XXVI.	D. {XXV. XXIV.	F. XXIV.	B. XXII.
6.	F. XXV.	B. XXIII.	B. XXV.	E. XXIII.	G. XXIII.	C. XXI.
7.	G. XXIV.	C. XXII.	C. XXIV.	F. XXII.	A. XXII.	D. XX.
8.	A. XXIII.	D. XXI.	D. XXIII.	G. XXI	B. XXI.	E. XIX.
9.	B. XXII.	E. XX.	E. XXII.	A. XX.	C. XX.	F. XVIII.
10.	C. XXI.	F. XIX.	F. XXI.	B. XIX.	D. XIX.	G. XVII.
11.	D. XX.	G. XVIII.	G. XX.	C. XVIII.	E. XVIII.	A. XVI.
12.	E. XIX.	A. XVII.	A. XIX.	D. XVII.	F. XVII.	B. XV.
13.	F. XVIII.	B. XVI.	B. XVIII.	E. XVI.	G. XVI.	C. XIV.
14.	G. XVII.	C. XV.	C. XVII.	F. XV.	A. XV.	D. XIII.
15.	A. XVI.	D. XIV.	D. XVI.	G. XIV.	B. XIV.	E. XII.
16.	B. XV.	E. XIII.	E. XV.	A. XIII.	C. XIII.	F. XI.
17.	C. XIV.	F. XII.	F. XIV.	B. XII.	D. XII.	G. X.
18.	D. XIII.	G. XI.	G. XIII.	C. XI.	E. XI.	A. IX.
19.	E. XII.	A. X.	A. XII.	D. X.	F. X.	B. VIII.
20.	F. XI.	B. IX.	B. XI.	E. IX.	G. IX.	C. VII.
21.	G. X.	C. VIII.	C. X.	F. VIII.	A. VIII.	D. VI.
22.	A. IX.	D. VII.	D. IX.	G. VII.	B. VII.	E. V.
23.	B. VIII.	E. VI	E. VIII.	A. VI.	C. VI.	F. IV.
24.	C. VII.	F. V.	F. VII.	B. V.	D. V.	G. III.
25.	D. VI.	G. IV.	G. VI.	C. IV.	E. IV.	A. II.
26.	E. V.	A. III.	A. V.	D. III.	F. III.	B. I.
27.	F. IV.	B. II.	B. IV.	E. II.	G. II.	C. *.
28.	G. III.	C. I.	C. III.	F. I.	A. I.	D. XXIX.
29.	A. II.		D. II.	G. *.	B. *.	E. XXVIII.
30.	B. I.		E. I.	A. XXIX.	C. XXIX.	F. XXVII.
31.	C. *.		F. *.		D. XXVIII.	

	Julius	August	September	October	November	December
1.	G. XXVI.	C. XXV. XXIV.	F. XXIII.	A. XXII.	D. XXI.	F. XX.
2.	A. XXV.	D. XXIII.	G. XXII.	B. XXI.	E. XX.	G. XIX.
3.	B. XXIV.	E. XXII.	A. XXI.	C. XX.	F. XIX.	A. XVIII.
4.	C. XXIII.	F. XXI.	B. XX.	D. XIX.	G. XVIII.	B. XVII.
5.	D. XXII.	G. XX.	C. XIX.	E. XVIII.	A. XVII.	C. XVI.
6.	E. XXI.	A. XIX.	D. XVIII.	F. XVII.	B. XVI.	D. XV.
7.	F. XX.	B XVIII.	E. XVII.	G XVI.	C. XV.	E. XIV.
8.	G. XIX.	C. XVII.	F. XVI.	A. XV.	D. XIV.	F. XIII.
9.	A. XVIII.	D. XVI.	G. XV.	B. XIV.	E. XIII.	G. XII.
10.	B. XVII.	E. XV.	A. XIV.	C. XIII.	F. XII.	A. XI.
11.	C. XVI.	F. XIV.	B. XIII.	D. XII.	G. XI.	B. X.
12.	D. XV.	G. XIII.	C. XII.	E. XI.	A. X.	C. IX.
13.	E. XIV.	A. XII.	D. XI.	F. X.	B. IX.	D. VIII.
14.	F. XIII.	B. XI.	E. X.	G. IX.	C. VIII.	E. VII.
15.	G. XII.	C. X.	F. IX.	A. VIII.	D. VII.	F. VI.
16.	A. XI.	D. IX.	G. VIII.	B. VII.	E. VI.	G. V.
17.	B. X.	E. VIII.	A. VII.	C. VI.	F. V.	A. IV.
18.	C. IX.	F. VII.	B. VI.	D. V.	G. IV.	B. III.
19.	D. VIII.	G VI.	C. V.	E. IV.	A. III.	C. II.
20.	E. VII.	A. V.	D. IV.	F. III.	B. II.	D. I.
21.	F. VI.	B. IV.	E. III.	G. II.	C. I.	E. *.
22.	G. V.	C. III.	F. II.	A. I.	D. *.	F. XXIX.
23.	A. IV.	D. II.	G. I.	B. *.	E. XXIX.	G. XXVIII.
24.	B. III.	E. I.	A. *.	C. XXIX.	F. XXVIII.	A. XXVII.
25.	C. II.	F. *.	B. XXIX.	D. XXVIII.	G. XXVII.	B. XXVI.
26.	D. I.	G. XXIX.	C. XXVIII.	E. XXVII.	A. XXVI.	C. XXV.
27.	E. *.	A. XXVIII.	D. XXVII.	F. XXVI.	B. XXV. XXIV.	D. XXIV.
28.	F. XXIX.	B. XXVII.	E. XXVI.	G. XXV.	C. XXIII.	E. XXIII.
29.	G. XXVIII.	C. XXVI.	F. XXV. XXIV.	A. XXIV.	D. XXII.	F. XXII.
30.	A. XXVII.	D. XXV.	G. XXIII.	B. XXIII.	E. XXI.	G. XXI.
31.	B. XXVI.	E. XXIV.		C. XXII.		A. XX.

H. E.

Kali, s. Kalium.

Kaliber, s. Caliber.

Kalium (Potassium), ein einfacher Körper, der zu den Metallen und zwar zu den Leichtmetallen und hier wieder zu der Gruppe der Alkalimetalle gerechnet wird. Chemisches Zeichen = K. Aequivalent = 488,836 (O = 100) oder 39,171 (H = 1).

In der Natur finden wir das Kalium im metallischen Zustande nicht, wohl aber vielfach in verschiedenen Verbindungen. Am weitesten verbreitet ist die Sauerstoffverbindung (das Kali oder Kaliumoxyd): und zwar wiederum an verschiedene Säuren gebunden. Bis zu Klaproth's Zeiten wußte man nicht, daß das Kali in Mineralien enthalten sei und daher nannte man dasselbe zum Unterschiede von dem Natron, das ja in großer Menge als Steinsalz in der Natur vorkommt, Pflanzenalkali. Zuerst entdeckte Klaproth das Kali im Leucit, dann mit Vauquelin im Lepidolith; und bald war die Gegenwart dieses Körpers in einer großen Reihe weit verbreiteter Mineralien nachgewiesen. So durch Kennedy

im Bimsstein, durch Vauquelin im grünen sibirischen Feldspath (dem sogenannten Amazonenstein), durch Rose im rothen Feldspath und früher schon durch Monnet und Bergmann im Alaunstein von Tolfa, so wie durch Black im Kieselsinter des Gaysirs. Mit dieser Entdeckung mußte der alte Name fallen und statt seiner wurde die Benennung Kali eingeführt.

Die am weitesten verbreitete Verbindung des Kaliumoxydes ist die mit Kieselsäure, die wiederum mit kieselsauren Verbindungen anderer Basen (Thonerde, Kalkerde, Talkerde, den Oxyden des Eisens ꝛc.) eine große Reihe von Mineralien bildet, von denen wir als die wichtigsten die Gruppen Feldspath und Glimmer anführen. Durch die unausgesetzt statthabende Einwirkung der atmosphärischen Luft und des mit Kohlensäure beladenen Wassers werden diese Gesteine im Laufe der Zeit zerlegt und des Alkalis zumeist beraubt, das vom Wasser aufgelöst mit fortgeführt wird. Daher finden wir auch in vielen Gesteinen (in den Thonen, Mergeln, Kalksteinen), die sich aus dem Wasser abgesetzt haben, einen Gehalt an Kali. Durch die Verwitterung, wie die angedeutete Zersetzung der Gesteine genannt wird, gelangt das Kali auch in die Ackererde, aus der es die Pflanzen in sich aufnehmen und ansammeln, so daß sie uns noch heute zur Darstellung der Kaliverbindungen dienen. Obgleich auch das Natron eben so verbreitet in der Natur zu finden ist, wie das Kali, so wird letzteres doch vorzüglich von den Pflanzen ausgewählt; selbst die Analysen der Aschen von Meerpflanzen, die doch in einem Medium wachsen, in welchem das Natron bedeutend überwiegt, haben sogar eine vorherrschende Kalimenge ergeben. Dieser auffallende, für die Theorie der Pflanzenernährung wichtige Punkt hat jedoch noch nicht die Beachtung erlangt, die er verdient *).

Durch die Einwirkung des Wassers, welches das Kali bei der Verwitterung ausgelaugt hat, auf andere Gesteine, die es bei seinem Lauf zur Oberfläche der Erde durchdringt, finden mannichfache Zersetzungen statt und damit entstehen andere Verbindungen des Kalis, das schwefelsaure Kali, Chlor-, Brom- und Jodkalium ꝛc., die wir besonders im Meerwasser, Salzsoolen und anderen Mineralquellen, so wie auch in einigen Gesteinen vorfinden. Chlorkalium wird auch unter den Producten der vulkanischen Thätigkeit aufgezählt, Schwefelkalium findet man in einigen Schwefelwässern und unter besonderen Umständen bildet sich salpetersaures Kali in großer Menge.

Mit den Pflanzen nimmt der thierische Organismus auch das Kali auf, das theilweise hier verwendet, theilweise mit den Excrementen ausgeschieden wird. Schließlich gelangt das der Erde entzogene Kali bei der Verwesung wieder dahin zurück, um diesen Kreislauf wieder von Neuem zu beginnen.

Schon Lavoisier erklärte die Alkalien für zusammengesetzte Körper, aber wegen der großen Verwandtschaft des Kalis zum Sauerstoff wollte es nicht gelingen einen Beweis für diese Ansicht beizubringen. Dies gelang erst Humphry Davy (1807) mit Hülfe einer äußerst kräftigen Voltaischen Säule. Diese für die Wissenschaft so äußerst wichtige Entdeckung wurde nicht durch einen glücklichen Zufall herbeigeführt, sondern sie war die Folge einer scharfsinnigen Ueberlegung. Kurz vorher hatte Davy die kräftige Wirkung des damals noch neuen Mittels kennen gelernt, als er beschäftigt war die Träumereien von Erzeugung einer Säure

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLVII. S. 193.

und der Alkalien aus reinem Wasser für immer und auf das Ueberzeugendste zu widerlegen, eine Arbeit, für die das Institut von Frankreich den scharfsinnigen Forscher mit dem 1801 von Napoleon für die wichtigste Entdeckung auf dem Gebiete des Galvanismus ausgesetzten Preise — im Betrage von 3000 Frcs. — belohnte.

Die Entdeckung, daß das Kali ein Metall enthalte, war der erste feste Schritt auf einem neuen Felde, das Davy zugänglich gemacht hatte. Je weiter Davy vorwärts eilte, je mehr Entdeckungen übermachte er der erstaunten Welt. Bei der Kunde von der ersten beeilte sich jeder, Voltaische Säulen aufzubauen und entdecken zu helfen. So groß war die Theilnahme, daß selbst die gewöhnlichsten Tagesblätter dem Publikum Nachricht von dieser wichtigen Entdeckung gaben. Ja in Paris war sie sogar im Munde der Damen und der König ließ sich das Experiment vormachen. Als Thénard bei seinen Vorlesungen im Collége de France, denen gleichfalls Damen beiwohnten, vom Katheder herab verkündete, daß er mit Gay-Lussac Davy's Versuche wiederholt und alle Angaben bestätigt gefunden hätte, applaudirte das gesammte Auditorium mit Händeklatschen.

Diese öffentlich ausgesprochene Uebereinstimmung verwandelte sich jedoch sehr bald in einen entschiedenen Widerspruch gegen Davy, der gleich von vorne herein mit der größten Bestimmtheit ausgesprochen hatte, daß das Kalium ein Metall und das Kali ein zusammengesetzter Körper sei. Die französischen Chemiker verkannten bei ihren ferneren Untersuchungen einige Wirkungsmittel, die dabei ins Spiel kamen, so völlig, daß sie aus dem Verhalten des Kaliums gegen Wasser gerade das Umgekehrte schlossen wie Davy. Diesen heftigen Streit zu entscheiden, war die damals bekannte Darstellungsmethode nicht geeignet, weil sie nur zu geringe Mengen des neuen Metalles lieferte. Thénard und Gay-Lussac bemühten sich daher eine neue Methode auf dem gewöhnlichen chemischen Wege ausfindig zu machen und bald gelangten sie dahin, das Kalium durch Reduction mittelst Eisen darzustellen, während Curaudeau bei Anwendung von Kohle zu demselben Resultat gelangte. Erst 1810 änderten Gay-Lussac und Thénard ihre Ansichten; sie hatten sich überzeugt, daß das Kalium keinen Wasserstoff gebunden enthalte.

Nur als Vorlesungsversuch stellt man jetzt noch das Kalium auf galvanischem Wege dar. Während Davy bei seinen Versuchen eine Säule von 150 Plattenpaaren von 4 bis 6 Zoll im Quadrat in Thätigkeit setzte, reicht man heute mit 8 kräftigen Grove'schen Elementen aus, besonders wenn man nur das Amalgam darstellt. Bei Anwendung von Quecksilber reichte freilich auch schon Berzelius mit einer viel schwächeren Säule aus, die nur aus 20 Plattenpaaren von $1^1/_2$ Zoll Durchmesser aufgebaut worden war. Um das Kaliumamalgam auf diese Weise darzustellen, legt man ein Stück geschmolzenes Kali, in welchem sich eine Höhlung zur Aufnahme des Quecksilbers befindet, auf eine Glasscheibe, benetzt das Kali mit Wasser, stellt den mit dem — Pole verbundenen Draht in das Quecksilber und bringt das Kali mit dem anderen Pole in Verbindung. Wird nun das Kali zersetzt, so geht das ausgeschiedene Kalium mit dem Quecksilber eine Verbindung ein; letzteres wird dickflüssig und man bemerkt kleine anscheinend kubische Krystalle — festes Kaliumamalgam — darin. Die in dem Amalgam enthaltene Kaliummenge ist jedoch sehr geringe.

Die Darstellungsmethode der französischen Chemiker ist im Laufe der Zeit mannichfach verbessert worden, wobei sich herausstellte, daß gar nicht eine so bedeutende Hitze, wie dort für unerläßlich gehalten wurde, erforderlich ist, wenn man zur Reduction Kohle anwendet. Die Kosten der Darstellung werden bedeutend verringert, wenn man statt des Kalihydrates, wie Brunner *) und vor ihm schon Döbereiner vorgeschlagen haben, kohlensaures Kali anwendet. Um eine recht innige Mengung mit Kohle herbeizuführen, verkohlt man Weinstein; man mischt aber die schwarze Masse noch mit $^1/_{10}$ Kohle, damit sie beim Erhitzen nicht so sehr in Fluß geräth und man auch sicher einen Ueberschuß von Kohle darin annehmen kann.

Eine andere Verbesserung ist von Wöhler **) eingeführt, indem er als Destillationsgefäß eine eiserne Flasche, in der das Quecksilber versendet wird, in Anwendung brachte. Denselben Vorschlag hatte früher schon Lampadius gemacht ***). So ist es möglich größere Mengen von Kalium darzustellen. Bevor man aber eine solche Flasche in Gebrauch nimmt, muß man sie tüchtig ausglühen, um eine nicht unbedeutende Menge Quecksilber, die in den Schweißfugen hartnäckig zurückgehalten wird, zu verflüchtigen. Eben so hat man sich durch Einpressen von Luft zu überzeugen, daß alles dicht ist. In das bereits an der Flasche befindliche Schraubengewinde befestigt man ein Stück eines Flintenlaufes von ungefähr 1 Fuß Länge. Das Gemenge von Kali und Kohle füllt man sehr schnell ein, damit es nicht Feuchtigkeit anzieht. Ist die Flasche bis zu einem Drittheile eingefüllt, so schraubt man das Flintenrohr an und legt die Retorte horizontal in einen gut ziehenden Ofen ohne Gebläse, der leicht hergestellt ist. Besondere Sorgfalt hat man auf Einrichtung des Rostes zu verwenden und dann bringt man eine sehr hohe Zugröhre an, um eben einen kräftigen Zug zu erzielen. Um eines solchen sicher zu sein, läßt man den Raum unter dem Rost mit einem Keller oder einem kalten Raum überhaupt in Verbindung treten, so daß von hier die Luft kräftig in den Ofen strömt. Es ist nicht nöthig, daß die Retorte mit einem Beschlage versehen ist.

Bringt man die Retorte zum Glühen, so geht zuerst viel Feuchtigkeit über, dann entwickelt sich Kohlenoxydgas, das man beim Austritt anzünden kann. Bei Weißgluth entweicht ein dicker, abwechselnd weiß, grau, grünlich braun oder fast schwarz erscheinender Dampf in großer Menge; entzündet man ihn, so brennt er mit weißer, leuchtender Flamme. Kalte Körper, welche man in die Flamme hält, beschlagen sich mit Kali. Dann füllt sich der innere Raum mit grünem Gas und dieser Umstand dient als Zeichen die Vorlage anzubringen. Nach der Angabe von Berzelius wird sie aus Kupfer- oder Eisenblech angefertigt und besteht aus zwei Theilen in Form flachgedrückter vierseitiger Behälter, die an den entgegengesetzten Enden verschlossen sind und von denen der eine sich gedrängt in den anderen hineinschieben läßt. Nach oben befinden sich zwei sich gegenüberstehende Oeffnungen, von denen die eine den Flintenlauf aufnimmt und die andere einen durchlöcherten Kork, so daß man leicht mit einem eisernen Ladestock ein Verstopfen

*) Schweigger's Journ. Bd. XXXIX. S. 517.
**) Pogg. Ann. Bd. IV. S. 23.
***) Schweigger's Journ. Bd. XXXIV. S. 221.

des engen Weges bis zur Vorlage verhindern kann. Um überhaupt ein Festsetzen des Destillationsproductes vor der Vorlage zu verhindern, muß der Weg bis zur Vorlage während der ganzen Operation glühend bleiben und aus diesem Grunde muß das Stück Flintenlauf sehr kurz und die vordere Wand des Ofens sehr dünne sein; am besten ersetzt man letztere durch eine eiserne Platte, die durchbohrt ist, um dem Flintenlauf einen Durchlaß zu gewähren.

Die Vorlage wird zur Hälfte mit Steinöl gefüllt und muß außerordentlich gut abgekühlt werden; man stellt sie am besten in Schnee und Eis oder man sorgt fleißig für die Erneuerung des Wassers. Man hat aber hierbei auf das Sorgfältigste zu vermeiden, daß kein Wasser in die Vorlage selbst hineingelangt, wodurch eine Entzündung des Kaliums und eine gefährliche Explosion veranlaßt werden würde. Eine weitere Oeffnung in der Vorlage, aus der ein Leitungsrohr unter Steinöl mündet, verstattet den während der Operation sich entwickelnden Gasen einen Ausweg. Entwickeln sich diese gleichförmig, so ist die Destillation gut im Gange. Um dies zu beurtheilen, entzündet man wohl auch die fortgehenden Dämpfe und beurtheilt dann den Gang der Operation nach der Größe der Flamme.

Im Verlaufe der Operation entweicht neben den Kaliumdämpfen und dem Kohlenoxydgas noch ein dicker weißer oder grauer Nebel, der nur zu leicht eine Verstopfung verursacht. Das Glühen des Ableitungsrohres schützt allein dagegen nicht immer; man muß daher wie schon oben angegeben mit einem Eisenstabe den Weg zur Vorlage öfters aufräumen. Aber endlich tritt auch bei aller Vorsicht ein Zeitpunkt ein, wo durch Anwendung äußerer Gewalt der Weg nicht mehr frei gehalten werden kann. Nur selten gelingt es noch durch die größte Anstrengung. Versucht man dies, so muß man die Vorsicht beobachten, sich in die Richtung des Flintenlaufes zu stellen, weil es oft geschieht, daß die sich in der Retorte anhäufenden Gase der von außen in Anwendung gebrachten Kraft zu Hülfe kommen und die ganze im Rohre abgesetzte Masse mit Heftigkeit herausgeschleudert, also gleichsam ein Schuß brennenden Kaliums durch die Luft gejagt wird.

Gelangt man nicht in kurzer Zeit dahin, den Weg zur Vorlage wieder frei zu machen, so ist die Operation zu unterbrechen und zuerst für die Entfernung des Feuers zu sorgen. Die Einrichtung des Rostes erlaubt dies augenblicklich; er ist beweglich und nimmt man ihn fort, so fällt das Feuer in den Aschenraum. Dann entfernt man die Vorlage und verstopft die Oeffnungen mit Korken. Auch die Retorte entfernt man aus dem Ofen und läßt sie erkalten. Hat man den Flintenlauf wieder gereinigt, so setzt man den Apparat wieder zusammen und beginnt die Operation wieder von Neuem; ein und denselben Inhalt der Retorte kann man wohl drei bis vier Mal wieder erhitzen. Die schwarze Masse aus dem Flintenlauf sammelt man sorgfältig und unterwirft diese einer neuen Destillation, um das darin enthaltene Kalium zu gewinnen. Oft findet man in der Vorlage kein reines Kalium, sondern nur diese Masse, deren Reinigung mit einer gewöhnlichen kleinen Retorte, die man in einen mit Sand gefüllten Tiegel stellt, ausgeführt wird, indem man den Tiegel zum Glühen bringt. Dieselbe Operation ist auch mit dem Kalium selbst vorzunehmen, weil es stets geringe Mengen von Kohle enthält. Hierbei bleibt eine schwarze Masse, eine Verbindung von Kalium mit Kohlenstoff, zurück, die in Berührung mit Wasser Kohlenwasserstoffgas (C H) entwickelt. Statt der Retorte aus Glas verwendet man zur Rectification des Kaliums besser einen

ganz ähnlichen Apparat wie zur Darstellung desselben. Bei Anwendung der ersteren geht unvermeidlich ein Theil des Kaliums verloren, weil dasselbe dem Glase Sauerstoff entzieht und sich in Kali verwandelt. Die Reinigung des Kaliums ist nicht lange zu verschieben, denn selbst unter Steinöl verändert sich das unreine Kalium mit der Zeit. Es wird schwarz, hart und besitzt dann die gefährliche Eigenschaft selbst durch das leiseste Reiben heftig zu explodiren.

Wegen des Gehaltes an Kalium verursacht die schwarze Masse oft Explosionen bei dem Auseinandernehmen des Apparates oder beim Entfernen derselben aus dem Flintenlauf, die durch den Zutritt der feuchten Luft bedingt zu werden scheinen. Wahrscheinlich bildet sich diese Masse dadurch, daß an den Stellen, wo die Temperatur nicht bis zur Glühhitze gesteigert ist, das Kohlenoxydgas von dem Kalium condensirt wird. Gmelin *), Liebig **), Heller ***), Thaulow ****) und Werner *****) haben diese merkwürdige Substanz genauen Untersuchungen unterworfen. Man hat daraus rhodizonsaures Kali gewonnen; die Rhodizonsäure zerlegt sich aber sehr leicht in Croconsäure und Oxalsäure. Die Namen der beiden Säuren sind hergeleitet von den ausgezeichneten Farben ihrer Verbindungen (rosenroth und gelb).

Trotz allen Verbesserungen, welche die von Brunner angegebene Methode erhalten hat, rechnet man die Darstellung des Kaliums dennoch zu den schwierigsten Operationen der Chemie, dazu kommt noch, daß die Ausbeute, welche man erzielt, eine sehr unsichere ist. Ganz abgesehen davon, daß man nur einen kleinen Theil des in dem Weinstein befindlichen Kaliums erhält, schwankt die Ausbeute nach Dumas zwischen 1 und 2,66, d. h. in den günstigeren Fällen erlangt man über $2^1/_2$ Mal mehr an Kalium als in den ungünstigeren. Dies hat seinen Grund darin, daß man bei den Verbesserungen so zu sagen nur die äußeren Hindernisse zu entfernen suchte und auf den chemischen Vorgang bei der Operation selbst gar keine Rücksicht nahm. Dadurch wurden Mareska und Donny †) veranlaßt die Einwirkung des Kohlenoxydgases auf das Kalium näher zu studiren. Sie fanden hierbei, daß, wenn man ein Gemenge von Kohlenoxydgas aus dampfförmigem Kalium in eine geräumige und abgekühlte Vorlage eintreten läßt, das Kalium sich nicht in metallischem Zustande abscheidet. Dadurch wurden sie in den Stand gesetzt, die Fehler des Brunner'schen Verfahrens zu erkennen und zu entfernen. Durch die Einwirkung der Kohle auf das kohlensaure Kali erzeugt sich in der Retorte Kohlenoxydgas und Kalium. Ein Theil des gebildeten Metalles condensirt sich in der Verbindungsröhre, aber eine größere Menge dringt in Dampfform in die Vorlage und ist aus dem angegebenen Grunde unwiderruflich verloren. Er entweicht im Zustande eines entzündlichen Gases in die Luft.

Aber auch den Theil des Kaliums erhält man nicht einmal ganz, der sich in der Verbindungsröhre verdichtet. Nur eine kleine Menge desselben fließt in die Vorlage; der Rest bleibt in der Röhre haften und verwandelt sich durch die

*) Pogg. Ann. Bd. IV. S. 31 und Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXXVII. S. 58.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm.
***) Ueber die Rhodizonsäure und Croconsäure. Prag 1837.
****) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXVII. S. 1.
*****) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XIII. S. 404.
†) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVI. S. 283.

beständige Einwirkung des Kohlenoxydgases in eine unschmelzbare, kohlige Masse, die dann die leidigen Verstopfungen verursacht. Die Verbesserungsvorschläge, welche darauf ausgehen, die Temperatur der Verbindungsröhre zu erhöhen, räumen zwar in etwas das Hinderniß der Verstopfung aus dem Wege, sie vermindern aber die Ausbeute auf doppelte Weise, indem sie einmal die Condensationsoberfläche verringern und dann viel mehr Kalium in Dampfform in die Retorte gelangen lassen. Aus diesen Betrachtungen geht also nothwendigerweise hervor, daß der Erfolg bei der Darstellung des Kaliums von zwei Umständen abhängt. Man muß das Metall nicht in der Verbindungsröhre condensiren lassen, sondern eine Vorlage anwenden, die das Kalium zu condensiren und sobald als möglich der Einwirkung des Kohlenoxydgases zu entziehen vermag, ohne daß eine zu große Menge in Dampfform entweicht.

Weiter gelangten Mareska und Donny bei diesen Untersuchungen zur Erkenntniß noch anderer Ursachen, die oft einen sehr schädlichen Einfluß auf den Gang der Operation ausüben und von der Construction des Apparates ganz unabhängig sind. Solche sind: die Gegenwart von Cyankalium in der das Kalium liefernden Mischung und ein fehlerhaftes Verhältniß zwischen der Menge der Kohle und des kohlensauren Kalis in dem verkohlenden Weinstein. Ersteres giebt, da es flüchtig ist, zu bedenklichen Verstopfungen Veranlassung. Man vermeidet seine Bildung durch die schnelle Abkühlung des Tiegels, in welchem man den Weinstein verkohlt hat, mittelst eines feuchten Tuches größtentheils. Der zweite Umstand macht erforderlich, daß man den verkohlten Weinstein genau analysire, um zu erfahren, ob die Menge der Kohle genau mit der übereinstimmt, welche die Theorie als zur Reduction des Kalis erforderlich vorschreibt. Nur wenn dies so viel als möglich der Fall ist, kann man einen günstigen Erfolg der Operation erwarten.

Durch die vielfach angestellten Versuche sind Mareska und Donny in den Stand gesetzt worden, die beste Vorschrift für die Bereitung des Kaliums angeben zu können. Wir verweisen daher diejenigen, welche sich speciell damit beschäftigen wollen, auf die angegebene Abhandlung, die über alle Theile der Operation in die kleinsten Details eingeht. Vollständig freilich sind die Hindernisse nicht entfernt, aber doch wenigstens beträchtlich vermindert. Namentlich haben die genannten Chemiker, so lange sie auch operirt haben, keine der oben besprochenen Explosionen beobachtet.

Aus 800 bis 900 Grm. verkohlten Weinsteins, die im Mittel 367 Grm. Kalium enthalten, erhält man nach diesem Verfahren in der Regel eine Ausbeute von 200 bis 250 Grm., so daß also doch noch über 100 Grm. Metall verloren gehen, und in Dampfform entweichen. Im Allgemeinen ist daher die Ausbeute zwar nicht größer als bei dem alten Verfahren in günstigen Fällen; der Unterschied ist aber der, daß sie hier constant ist.

Die metallische Natur des Kaliums spricht sich schon sehr deutlich in der silberweißen Farbe und dem starken Glanz aus. Da aber das Kalium unter allen bekannten Elementen die größte Verwandtschaft zum Sauerstoff hat, weswegen es auch unter Steinöl aufbewahrt wird, so erbleicht der helle Silberglanz sehr bald an der Luft. Nur für wenig Augenblicke ist er auf der frischen Schnittfläche sichtbar, die sich schnell mit einer dünnen Schicht von Kali überzieht. Bei einer Temperatur von 0° ist das Kalium starr und spröde, bei 15° ist es weich, läßt sich

wie Wachs schneiden und auch zwischen den Fingern kneten; bei 55° ist es ganz flüssig und hat nun viele Aehnlichkeit mit dem Quecksilber. Erhitzt man es bei Ausschluß der Luft, so geräth es bei Rothgluth ins Kochen; der Dampf besitzt eine schöne grüne Farbe. Das durch Abkühlen fest gewordene Kalium besitzt eine krystallinische Textur und scheint die Krystallform dem regulären System anzugehören. Pleischl giebt an *), daß er auf einem $1/2$ Zoll langen Stück Kalium unter der Loupe zahlreiche kleine Krystalle beobachtet habe, an denen sich lauter rechte Winkel beobachten ließen. Einige wurden deutlich als Würfel erkannt. Diese Krystallisation zeigte große Aehnlichkeit mit der bekannten des Wismuths. Pleischl's Versuche aber beim Kalium ähnlich wie beim Schwefel, Wismuth rc. auf die bekannte Art die Krystallisation hervorzurufen, scheiterten gänzlich. Die mehr oder weniger deutliche krystallinische Textur entwickelt sich besonders, wenn das Kalium einige Zeit lang in Steinöl aufbewahrt worden ist. — Unter allen Metallen besitzt das Kalium das geringste specifische Gewicht. Nach Gay-Lussac und Thénard beträgt es bei 15°C. 0,865. Nach Davy ist das Kalium ein sehr guter Leiter der Wärme und ein vollkommener Leiter der Elektricität.

Das Kalium zieht mit so großer Begierde den Sauerstoff an, daß Wasser sogleich zersetzt wird, wenn es mit Kalium in Berührung kommt. Hierbei wird eine so große Wärme entwickelt, daß der freiwerdende Wasserstoff sich entzündet, zugleich verflüchtigt sich ein Theil des Kaliums und daher zeigt die Flamme eine schöne violette Farbe. Legt man ein Stück Kalium auf eine große Wasserfläche, so geräth es in eine lebhafte Bewegung und fährt brennend darauf umher. Ist alles Kalium oxydirt, so hört die Wasserstoffentwickelung auf und bald darauf verschwindet die kleine Kugel von Kalihydrat unter einem ziemlich starken Geräusch im Wasser. Gegen das hierbei stattfindende Umherschleudern muß man sich schützen. Der Grund dieser Explosion ist ein ähnlicher wie beim Leidenfrost'schen Versuch. Hat die Wasserstoffentwickelung aufgehört, so befindet sich zwischen der glühenden Kugel und dem Wasser eine Schicht Wasserdampf; beim Erkalten verdichtet sich derselbe und kommt das Kali mit dem Wasser zusammen, so entwickelt sich bei der Wasseraufnahme eine bedeutende Wärme, durch welche wieder Wasserdampf erzeugt wird, der mit solcher Heftigkeit entweicht, daß einzelne Theilchen der Flüssigkeit und des Kalis umhergeschleudert werden. Nach Anderen soll sich bei der Verbrennung des Kaliums Kaliumsuperoxyd bilden, so daß an der nach dem Verbrennen auftretenden Explosion noch der entweichende Sauerstoff Theil nähme. Das Wasser reagirt nun deutlich alkalisch.

Eben so entzieht auch das Kalium einer großen Reihe von sauerstoffhaltigen Verbindungen den Sauerstoff. Es dient deshalb zur Darstellung einiger Elemente wie z. B. des Borax, Siliciums rc. In Kohlensäure und Kohlenoxydgas, die beide nicht fähig sind das Verbrennen zu unterhalten, entzündet sich das Kalium und die Kohle wird aus ihrer Verbindung mit dem Sauerstoff abgeschieden.

Auf einer glatten, von Oxyd oder fremden Metallen freien Quecksilberoberfläche geräth das Kalium in eine ähnliche lebhafte Bewegung wie auf dem Wasser. Diese Erscheinung hat Mulder **) zu einer Erörterung Gelegenheit gegeben.

*) Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 431.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 500.

Das Kalium verbindet sich mit dem Sauerstoff in verschiedenen Verhältnissen. Findet ein unvollkommener Zutritt von Sauerstoff statt, so soll sich Suboxyd (K^2O) bilden. Durch Verbrennen von Kalium im Sauerstoffstrom oder beim Schmelzen von Kalium mit Salpeter entsteht Kaliumsuperoxyd (KO^3). Die wichtigste Verbindung aber ist das Kaliumoxyd (KO), gewöhnlich Kali (Potasse, Oxyde de potassium, Potassa) genannt. Im wasserfreien Zustande ist es sehr schwierig darzustellen; am besten nach Davy, wenn man Kalium und Kalihydrat in gleichen Aequivalenten zusammenschmilzt. Hierbei wird das Hydratwasser zersetzt, der Wasserstoff entweicht und der Sauerstoff oxydirt das Kalium zu Kali.

Seine allgemeine Anwendung findet das Kali nur in dem Hydratzustande, sei es als feste Masse (ätzendes oder kaustisches Kali, Aetzstein, Lapis causticus, Hydrate de Potasse, Potasse à la chaux, Pierre à cautère, engl. caustic Potash, dry Potassa) oder als Flüssigkeit (Aetzkalilauge, Seifensiederlauge, Lessive caustic, engl. caustic ley). Beide stellt man aus dem kohlensauren Kali dar, dem man die Kohlensäure durch Kochen mit gebranntem Kalk entzieht. Ganz wird dem ersteren die Kohlensäure aber nur bei verdünnter Lösung (in 12 Th. Wasser entzogen. 1 Th. kohlensaures Kali erfordert 0,4 Th. frisch gebrannten Kalk; man nimmt in der Regel die Hälfte des ersteren an Kalk, löscht diesen mit dem dreifachen Gewicht an Wasser und trägt den Brei nach und nach, so daß das Kochen nicht unterbrochen wird, in die Potaschenlösung ein. Auf diese Art trennt sich die Kohlensäure sehr leicht von dem Kali und der kohlensaure Kalk nimmt eine körnige Beschaffenheit an, wodurch er sich schnell zu Boden senkt und die Lauge gut abgegossen werden kann. Setzt man den Kalk auf einmal hinzu, so wird die Sättigung desselben mit Kohlensäure dadurch verhindert, daß der noch nicht gesättigte Kalk durch den bereits gebildeten kohlensauren Kalk eingehüllt und dadurch der Einwirkung des kohlensauren Kalis entzogen wird. Nicht allein daß man dann mehr an Kalk verbraucht, der kohlensaure Kalk setzt sich zugleich dann auch schwerer ab. Die vollständige Umwandlung des kohlensauren Kalis in Aetzkali erkennt man daran, daß beim Eintröpfeln einer Probe in Salzsäure keine Entwickelung von Kohlensäure statt hat. Man läßt nun den kohlensauren Kalk sich absetzen und gießt die klare Flüssigkeit ab oder hebt sie mit einem Heber ab. Den Rückstand wäscht man mit etwas Wasser aus, um möglichst alles Kali zu erhalten. Filtriren durch einen leinenen Beutel ist nicht anzurathen, weil dies längere Zeit erfordert, so daß die Lauge Kohlensäure aus der Luft anzieht; dann aber wirkt sie auch auf die Leinwand ein und färbt sich dadurch gelb.

Zu chemischen Zwecken wendet man reine Materialien an; gereinigtes kohlensaures Kali, Marmor und destillirtes Wasser. Eine solche Lauge enthält immer eine geringe Menge Kalk aufgelöst, jedoch nicht in größerer Menge als das Wasser; durch Eintröpfeln einer Lösung von kohlensaurem Kali kann man diese Verunreinigung entfernen. Das kohlensaure Kali läßt sich aber überhaupt schwer ganz rein darstellen, daher muß man, wenn man eine chemisch reine Lauge darstellen will, andere Wege einschlagen *).

*) Journ. f. prakt. Chemie. Bd. XXVI. S. 117 und Bd. LVII. S. 119.

Die Kalilauge zieht aus der Luft begierig Kohlensäure an, deshalb muß man sie in gut verstöpselten Flaschen aufbewahren. Hierbei ist aber der Verschluß durch Kork zu vermeiden, weil die Kalilauge darauf einwirkt. Auch das Glas wird davon angegriffen, namentlich das mattgeschliffene. Die Lauge löst daraus Kieselerde und Thonerde auf; das gebildete kieselsaure Kali erhärtet leicht und kittet den Glasstöpsel so fest ein, daß man genöthigt ist, den Hals der Flasche abzusprengen. Durch Bestreichen des Stöpsels mit Talg wird zwar dieser Uebelstand vermieden, aber die Lauge verunreinigt. Am besten ist es daher die Berührung der Lauge mit dem mattgeschliffenen Glase ganz zu vermeiden, was dadurch geschieht, daß man die Lauge nie ausgießt, sondern stets mit einer Pipette heraushebt.

Will man das Kali in fester Gestalt erhalten, so dampft man die Lauge so lange ein, bis ein herausgenommener Tropfen, den man auf ein kaltes Blech fallen läßt, erstarrt. Aus dem angegebenen Grunde muß man hierbei Gefäße von Glas und Porzellan vermeiden und nur eiserne in Anwendung bringen. Von starker Kalilauge wird aber auch Eisen angegriffen; daher bedient man sich zum Schmelzen des festen Kalis Tiegel von Silber. Hat man es hierin so lange erhitzt, bis es ruhig wie Oel fließt und gießt man es dann in cylindrische Formen aus, so erhält man das Kali causticum fusum, den Lapis causticus oder Aetzstein, der von Chirurgen zum Aetzen von Wunden verwendet wird. In diesem Zustande hat man eine Verbindung von Kaliumoxyd mit 1 Atom HO, also Kaliumoxydhydrat, während das zuerst erwähnte Kali causticum siccum noch 2 Atome HO enthält. Von dem Hydratwasser kann das Kali durch Erhitzen nicht befreit werden. Es zieht sehr begierig Wasser aus der Luft an und zerfließt sehr leicht. Daher löst es sich auch sehr leicht in Wasser auf, wobei sich eine bedeutende Hitze entwickelt, weil hier noch Wasser chemisch gebunden wird. Man kann das Kalihydrat auch krystallisirt erhalten *).

Ausgezeichnet ist das Kali durch seine große Verwandtschaft zu den Säuren und seine Einwirkung auf organische Stoffe. In ersterer Beziehung übertrifft es im Allgemeinen alle anderen Basen. Die thierischen Substanzen werden noch leichter von der Kalilauge angegriffen als die pflanzlichen. Bringt man es z. B. auf die Haut, so wird diese zerfressen; darauf beruht seine Verwendung zum Aetzen von Wunden. Im verdünnten Zustande macht es die Haut schlüpfrig. Das Verhalten des Kalis zu den organischen Stoffen ist es auch, welches die Seifen geeignet macht, den Schmutz zu entfernen; ferner bedient man sich der Lauge auch beim Bleichen.

Löst man Kalihydrat in Weingeist, so übt es bald seine Wirkung auf diesen aus. Er nimmt eine braune Farbe an, die mit der Zeit immer dunkler wird und ein Theil desselben wird zersetzt. Es bilden sich Aldehydharz, Essigsäure und Ameisensäure. In der organischen Chemie dient das Kalihydrat als ein kräftiges Oxydationsmittel. Durch Schmelzen von Kalihydrat mit organischen Stoffen entstehen mannigfache Zersetzungsproducte.

In der Technik fertigt man die Lauge, die in großer Menge zum Bleichen, Seifesieden, in der Färberei, Kattundruckerei gebraucht wird, theils aus Holzasche

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 192.

(namentlich Buchenholzasche), theils aus der rohen Pottasche oder einem Gemenge beider an. Man mengt die erstere mit 8 bis 10 Proc. gebranntem Kalk und laugt das Gemisch in hölzernen oder besser gußeisernen Gefäßen (Aescherfässern) mit Wasser aus. Zu dem Ende läßt man das Ganze 24 Stunden stehen und läßt dann die Lauge durch den Hahn abfließen. Durch abermaliges Aufgießen von Wasser erhält man noch eine schwächere Lauge. Der Rückstand in dem Aescher wird theils als Dünger, theils zum Darstellen von Glas oder Salpeter verbraucht.

Um den Gehalt der Lauge an Kalihydrat zu erfahren, hat man in der Technik viele Proben, die jedoch ein sehr unsicheres Resultat geben. Bei schwächeren Laugen entscheidet man dieses durch den Geschmack oder durch den Grad der Schlüpfrigkeit eines damit benetzten Körpers. Man läßt auch ein Ei darauf schwimmen und beobachtet, wie tief es eintaucht. Das specifische Gewicht giebt auch keine genaue Auskunft, wegen der Verunreinigungen, die in der Lauge enthalten sind. Genaue Resultate giebt nur die Sättigung mit Säuren.

Unter den zahlreichen Verbindungen des Kaliumoxydes mit Säuren sind viele für das Leben von großer Wichtigkeit. Obenan steht das kohlensaure Kali (Pottasche, mildes Pflanzenlaugensalz, Weinsteinsalz, Sal Tartari, Souscarbonate de Potasse, Sel de Tartre, engl. Subcarb. of Potasse, Salt of Tartar), da es größtentheils als Ausgangspunkt für die Darstellung der Kaliverbindungen dient.

Bei der Darstellung dieses Salzes kommen uns die Pflanzen zu Hülfe; sie sammeln die geringen Mengen von Kali, welche in den Gesteinen und durch diese in dem fruchtbaren Boden enthalten sind, in sich auf. In den Pflanzen ist das Kali an verschiedene unorganische Säuren (Schwefelsäure, Phosphorsäure, Kieselsäure), auch an Chlor und ein großer Theil an organische Säuren gebunden. Beim Verbrennen der Pflanzen bleibt der Kaligehalt in der Asche zurück und der Theil, welcher in der lebenden Pflanze mit organischen Säuren verbunden war, findet sich darin als kohlensaures Kali. Um letzteres zu gewinnen, zieht man die Asche mit Wasser aus, dampft die Lösung ein und bringt die so erhaltene Salzmasse in einen Flammofen, um die darin enthaltenen färbenden organischen Theile zu zerstören. Diese Operation nennt man calciniren und das Product calcinirte Pottasche.

Zur Darstellung der Pottasche dient besonders die Holzasche. In wenig bevölkerten Ländern, die reiche Holzbestände besitzen, wird eine große Menge lediglich zu diesem Zwecke eingeäschert, so in Schweden, Rußland, Nordamerika, zum Theil auch in Ungarn, Böhmen ꝛc. An anderen Orten (im Schwarzwalde, Odenwalde, Böhmen) verarbeitet man nur die Asche, welche bei der Feuerung abfällt. Außer dem Holze kann man auch eine große Menge anderer Pflanzen auf Pottasche benutzen. Bei der sich unausgesetzt steigernden Verringerung der Holzbestände wäre man mit der Zeit genöthigt worden, diesem Gegenstande eine größere Aufmerksamkeit zu schenken, wenn der Verbrauch der Pottasche in der Technik in der jüngsten Zeit nicht sehr bedeutend durch die Soda (kohlensaures Natron) verringert worden wäre. In den meisten Fällen verwendet man jetzt diese statt jener und nur für wenige Zweige der industriellen Thätigkeit ist die Pottasche unersetzlich: so in der Alaun- und Salpeterfabrikation, bei der Darstellung des böhmischen Krystallglases, des chlorsauren Kalis, des Blutlaugensalzes, der Schmierseifen, des sämischen Leders und der Darmsaiten.

Im Herbst sieht man in vielen Gegenden, daß auf den Aeckern große Mengen von sonst nicht brauchbaren Pflanzen verbrannt werden. Dies geschieht hauptsächlich, um dem Boden den ihm durch die Pflanzen entzogenen Bestand an Kali, der für das Wachsthum unentbehrlich ist, wieder zuzuführen. Man könnte aber von diesem vortrefflichen Düngungsmittel einen ausgedehnteren Gebrauch machen als es bis jetzt geschieht.

Namentlich die kraut- und strauchartigen Pflanzen geben eine größere Ausbeute an Asche als unsere Bäume; bei letzteren beträgt diese nur 1 bis 2 Proc., bei den Sträuchern 3 bis 5 Proc. und bei den krautartigen Pflanzen (Kartoffel, Buchweizen, Unkraut mancherlei Art) 4 bis 6 Proc. und die Asche liefert wieder resp. den zehnten bis fünften Theil, bis zur Hälfte oder den fünften Theil an Pottasche. Dem Rückstande bei der Darstellung des Branntweins aus der Rübenmelasse, der auch bereits bei uns Eingang gefunden hat, schenkt man noch nicht die Beachtung, die er verdient. Er enthält alle die Salze, welche dem Boden entzogen sind; jetzt gehen diese fast allgemein verloren, ein Umstand, der sich nach einer Reihe von Jahren auf eine sehr empfindliche Art wird geltend machen.

Die Pottasche, wie sie in zahlreichen Sorten nach den Ländern benannt, aus denen sie herstammt, im Handel vorkommt, enthält alle die oben aufgeführten Vereinigungen in einer größeren oder geringeren Menge; außerdem aber auch geringe Mengen von Aetzkali, unlösliche Verbindungen und Wasser, welches mit Begierde aus der Luft angezogen wird, so daß die Pottasche oft ganz naß und weich ist. Bei der Verwendung kommt nur der Gehalt an kohlensaurem Kali in Betracht und deshalb ist es für die Technik von großem Werth diesen genau zu kennen. Wir verweisen dieserhalb auf den Art. Alkalimetrie. Im allgemeinen sind die amerikanische und die illyrische Pottasche die besten und reinsten.

Um die Pottasche von diesen Verunreinigungen zu befreien, übergießt man sie mit einem gleichen Gewicht oder weniger reinen, kalten Wassers, rührt das Ganze tüchtig um, und gießt nach einiger Zeit die Lösung ab. Den Rückstand verarbeitet man auf schwefelsaures Kali. In der Lösung befinden sich aber neben dem kohlensauren Kali noch schwefelsaures Salz und Chlorkalium, die man nur theilweise durch Krystallisiren entfernen kann. Das auf diese Weise bereitete gereinigte kohlensaure Kali ist daher nie ganz rein; es enthält stets neben den genannten Salzen auch noch Kieselerde. Vom Chlorkalium und dem schwefelsauren Kali kann man das kohlensaure Kali durch eine ähnliche Operation wie sie aus den Zuckerfabriken unter dem Namen „Decken" bekannt ist, befreien, nur ist dazu ein ziemlicher Aufwand von Zeit erforderlich. Man läßt nämlich durch die Salzmasse eine concentrirte Auflösung von ganz reinem kohlensauren Kali hindurchsickern, die nach und nach die fremden Salze auflöst und fortführt. Die Kieselsäure soll nach Artus sehr leicht entfernt werden, wenn man die Lösung der rohen Pottasche mit 6 bis 8 Loth frisch geglühter Holzkohle auf jedes Pfund Pottasche 24 Stunden stehen läßt.

Für den chemischen und pharmaceutischen Gebrauch gewinnt man ein reineres kohlensaures Kali durch Glühen von Weinstein (Sal tartari, Kali carbonicum e Tartaro) wobei sich die Weinsteinsäure in Kohlensäure verwandelt. Man vermeidet hierbei den rohen Weinstein wegen seines Gehaltes an stickstoffhaltigem Ferment, der zur Bildung von Cyankalium Veranlassung giebt. Den reinen Weinstein glüht man entweder für sich oder mit der Hälfte salpetersaurem

Kali. Die geglühte Masse enthält mehr oder weniger Kohle, die beim Auflösen zurückbleibt. Oft enthält der Weinstein Kalk, der mit in das kohlensaure Kali übergeht und durch vorsichtiges Zusetzen einer Lösung von oxalsaurem Kali entfernt werden kann. Außerdem sind noch Talkerde, Chlor und Kieselsäure darin enthalten, so daß es auch hier schwer hält, ein vollkommen reines Präparat zu erhalten.

In den Weinländern bereitet man aus den Weinhefen, den Trestern und Traubenkämmen, wegen ihres Gehaltes an Weinstein, Pottasche, die unter den Namen Weinhefenasche und Waidasche in den Handel kommt.

Der Geschmack des kohlensauren Kalis ist nicht ätzend; es reagirt deutlich alkalisch, löst sich leicht in Wasser, aber nicht in Weingeist. Es schmilzt bei Rothgluth und deshalb bedient man sich seiner häufig als Fluß- und Reductionsmittel. In der Weißgluth verflüchtigt sich das kohlensaure Kali. Durch Glühen kann die Kohlensäure nicht ausgetrieben werden; leitet man aber in der Hitze Wasserdampf darauf, so geht die Kohlensäure fort. Das kohlensaure Kali ist seit den ältesten Zeiten im Gebrauch. Früher hielt man es jedoch mit dem kohlensauren Natron für identisch, so daß beide denselben Namen — Alkali, aus dem Arabischen, Asche bedeutend — führten. Duhamel (1736) und Marggraf (1758) unterschieden zuerst das kohlensaure Kali von dem Natronsalz.

Stellt man eine concentrirte Auflösung von kohlensaurem Kali in flachen Gefäßen in Räume, wo sich Kohlensäure (bei der Gährung) entwickelt, so wird noch Kohlensäure aufgenommen und es schießt mit der Zeit doppelt kohlensaures Kali in großen wasserhellen Krystallen an, deren Grundform eine gerade rhombische Säule ist. Das zweite Aequivalent Kohlensäure ist nur lose gebunden, es entweicht mit einem Aequivalent Wasser beim Erhitzen; leichter noch beim Kochen der Auflösung.

Salpetersaures Kali, Salpeter (Kali nitricum, Nitrate de potasse, Nitre). Salpetersäure bildet sich bei der Verwesung stickstoffhaltiger, thierischer Stoffe (Blut, Urin rc.), wenn starke Basen (Kali, Natron, Kalk, Bittererde) und hinreichender Luftzutritt vorhanden sind, bei uns also namentlich in Ställen, in der Nähe von Abtritten rc. und deshalb findet man stets in dem Wasser von Brunnen, die in der Nähe solcher Orte liegen, einen Gehalt an Salpeter. Oft erkennt man den Vorgang der Salpeterbildung auch an den weißen Ausblühungen auf dem Erdboden, an Mauern, indem das Wasser, in welchem der Salpeter gelöst, verdampft und das Salz dann zurückbleibt (auswittert). Aber hier ist nicht alles Salpeter, was man im gewöhnlichen Leben so nennt. Die Ausschläge an den Mauern sind meistens Folge verschiedener Zersetzungen, die zwischen verschiedenen Bestandtheilen der Bausteine vor sich gehen.

Namentlich in heißen Ländern findet die Bildung von Salpeter am Boden in einem größeren Maßstabe statt als bei uns. Besonders in porösem Kalkgestein, das nur sehr geringe Mengen von organischen Stoffen enthält, namentlich in Höhlen, scheint selbst das Ammoniak oder gar der freie Stickstoff in der Luft zur Bildung von Salpetersäure verwendet zu werden. Die hier von der Natur producirten Mengen sind so bedeutend, daß man die in früherer Zeit stark betriebene künstliche Erzeugung von Salpeter in den sogenannten Salpeterplantagen fast ganz aufgegeben hat. Man mengte lockere Erde mit Kalk und thierischen Stoffen (Blut,

Urin, Horn, Abfällen ꝛc.) und schichtete die Haufen so auf, daß der Sauerstoff der Luft überall Zutritt hatte. Dieser Fabrikationszweig hat auch darum nachgelassen, weil der Verbrauch des Salpeters gleichfalls durch das in der Natur in reichlicher Menge vorkommende salpetersaure Natron bedeutend eingeschränkt worden ist.

Zur Darstellung des Salpeters sammelt man den ausgewitterten rohen Salpeter (Kehrsalpeter). Die salpetersauren Salze zieht man durch Wasser aus und setzt dann eine Auflösung von kohlensaurem Kali hinzu, wodurch Kalk und Magnesia gefällt werden. Bei Eindampfen der filtrirten Lösung schießt der Salpeter in sechsseitigen Säulen an. Durch Umkrystallisiren wird er vollends gereinigt. Bei der Bildung der Krystalle wird kein Wasser chemisch gebunden. Außer in Prismen krystallisirt der Salpeter aber auch in Rhomboedern. Der Geschmack des Salpeters ist kühlend; in Wasser ist er ziemlich leicht löslich, aber nicht in Alkohol. Durch Hitze wird der Salpeter zersetzt, es entweicht Sauerstoff. Bringt man auf geschmolzenen Salpeter leicht verbrennende Körper (Kohle, Papier), so verbrennen diese mit lebhafter Flamme. Auf glühenden Kohlen verpufft der Salpeter. Die Verwendung des Salpeters bei der Darstellung des Schießpulvers hat eben in der leichten Abgabe des Sauerstoffs ihren Grund. In der Salpetersäurefabrikation ist der Salpeter heute zumeist durch das salpetersaure Natron ersetzt worden. Weiter wird der Salpeter gebraucht in der Schwefelsäurefabrikation, bei der Darstellung des Glases, beim Einpökeln des Fleisches und auch als Oxydations- und Flußmittel; eben so auch in der Kunstfeuerwerkerei. In der Medicin findet der Salpeter vielfache Verwendung.

Schwefelsaures Kali, vitriolisirter Weinstein: (Kali sulphuricum, Tartarus vitriolatus, Sulfate de Potasse) kommt in der Natur im Steinsalz, in Salzsoolen, in den Pflanzen, im Alaunstein ꝛc. vor; man gewinnt es als Nebenproduct bei verschiedenen Operationen, so bei der Reinigung der Pottasche, bei der Bereitung der Soda aus der Asche von Meer- und Strandpflanzen, auf Salinen aus der Mutterlauge. Eine Hauptquelle für die Gewinnung dieses Salzes ist jetzt fast versiegt, seitdem man zur Darstellung der Salpetersäure den Chilisalpeter in so großer Menge verwendet. Sonst fiel es hierbei in großer Menge ab. Dadurch sind namentlich die Alaunfabrikanten genöthigt worden ihre Zuflucht zu Ammoniaksalzen zu nehmen, die bei dem großartigen Betriebe der trocknen Destillation organischer Substanzen reichlich abfallen. Außerdem findet das schwefelsaure Kali in der Medicin, bei der Darstellung des Glases und Salpeters Verwendung. Das saure schwefelsaure Kali — der Rückstand bei der Bereitung der Salpetersäure — hat man als Ersatz der theuern Weinsteinsäure bei der Darstellung schäumender Getränke vorgeschlagen; doch macht sich hier ein unangenehmer Beigeschmack ziemlich bemerklich.

Das schwefelsaure Kali krystallisirt in vier- und sechsseitigen Säulen; der Geschmack ist bitter, salzig, etwas scharf. Es ist in Wasser ziemlich schwer, in Alkohol unlöslich.

Chromsaures Kali (vergl. Bd. I. S. 968).

Unterchlorigsaures Kali (KO, ClO). Die Auflösung desselben benutzt man als Bleichmittel (Javelle'sche Lauge, Eau de Javelle). Vor der Darstellung des Chlorkalks im Großen benutzte man diese Flüssigkeit zum Bleichen der Gewebe; jetzt jedoch nur noch in der Haushaltung, um Obst-, Wein-

und Rostflecke aus der Wäsche zu entfernen. Zu diesem Ende zieht man Chlorkalk mit Wasser aus und zersetzt die Lösung des unterchlorigsauren Kalkes mit kohlensaurem Kali, wobei der Kalk in Verbindung mit Kohlensäure als unlöslich sich ausscheidet, während das unterchlorigsaure Kali gelöst bleibt.

Chlorsaures Kali (KO, ClO^5) erhält man, wenn man in eine concentrirte Kalilösung Chlorgas leitet; es bildet sich Chlorkalium und chlorsaures Kali; ersteres ist leicht löslich, letzteres scheidet sich in kleinen weißen, perlmutterglänzenden, tafelförmigen rhombischen Krystallen aus ($6\ KO + 6\ Cl = 5\ ClK + KO, ClO^5$). Es schmilzt in gelinder Hitze ohne Zersetzung, in stärkerer Hitze aber wird es zersetzt und darauf beruht die Darstellung des Sauerstoffgases, das allgemein zu chemischen Zwecken aus diesem Salz bereitet wird. Früher wurde dasselbe viel zu den bekannten Schwefelhölzern verbraucht, die jetzt aber durch die Phosphorstreichhölzchen ganz verdrängt worden sind. Diese Verwendung beruhte darauf, daß das chlorsaure Kali durch concentrirte Schwefelsäure unter Feuererscheinung zersetzt wird, dadurch entzündet sich der Schwefel an dem Hölzchen und durch den aus dem chlorsauren Kali entbundenen Sauerstoff entsteht die Flamme, so daß auch das Holz selbst in Brand geräth. Auch bei der Anfertigung der Reibzündhölzer wird dieses Salz gebraucht, aber in geringerer Menge, da die Masse beim Streichen heftig knallt. In der Kunstfeuerwerkerei verwendet man das chlorsaure Kali häufig; beim Mischen der verschiedenen Substanzen muß man sehr vorsichtig sein, weil das chlorsaure Kali beim Reiben leicht explodirt; eben so, wenn man es mit Schwefel gemischt hat, durch einen kräftigen Hammerschlag. Man hat vielfach versucht, das chlorsaure Kali statt des Salpeters bei der Bereitung des Schießpulvers anzuwenden, aber die Entmischung erfolgt hier zu plötzlich; außerdem ist die Darstellung, Aufbewahrung und Transportirung eines solchen Pulvers sehr gefährlich, weil die unbedeutendsten Umstände heftige Explosionen hervorrufen. In der Kattundruckerei bedient man sich des chlorsauren Kalis gleichfalls als oxydirendes Mittel.

Kieselsaures Kali, Wasserglas, verre soluble. Nach den Angaben von Fuchs bereitet man diese in Wasser lösliche Verbindung durch Zusammenschmelzen von 3 Th. feinem Quarzsand, 2 Th. gereinigter Pottasche und $^1/_5$ Kohlenpulver. Letzteres setzt man hinzu, um das in der Pottasche enthaltene schwefelsaure Kali zu zersetzen und für die Vereinigung mit der Kieselsäure geeignet zu machen. Die in der Glasmasse enthaltenen fremden Salze entfernt man sehr leicht durch Wasser, nachdem man die gepulverte Masse einige Zeit der Einwirkung der Luft ausgesetzt hat. Durch Kochen in Wasser (5 bis 6 Th.) löst sich das kieselsaure Kali auf; verdunstet das Wasser, so bildet sich ein glasglänzender Ueberzug nach Art eines Firnißüberzuges. Diese Eigenschaft macht die Lösung des Wasserglases zu mancherlei Anwendung geschickt. Leicht Feuer fangende Gegenstände (Leinwand, Holz, Tapeten, Decorationen mancherlei Art) werden durch einen Ueberzug von Wasserglas sehr geschützt. Dies wäre namentlich zu beachten für Orte (Theater, Concerte, Ballsäle ꝛc.), an denen eine große Menschenmenge versammelt ist. Freilich feuerfest werden die Gegenstände dadurch nicht gemacht, aber doch vor einem leichten Feuerfangen geschützt und dadurch könnte viel Unglück verhütet werden. Wird Holz, das mit einem solchen Ueberzuge versehen ist, lange Zeit der Einwirkung eines Feuers ausgesetzt, so entwickeln sich unter dem Ueberzuge Dämpfe, die diesen zerreißen und dadurch einen Ausweg finden. Diese Dämpfe

entzünden sich und durch die Risse findet mit der Zeit die Flamme auch ihren Weg nach innen. — Noch weniger Beachtung haben leider die Bemühungen von Fuchs gefunden, dem Wasserglas eine Anwendung in der Malerei zu verschaffen. Es ist über allen Zweifel bewiesen, daß durch das Wasserglas Malereien gegen die Einwirkung der Atmosphäre vollständig geschützt werden können (Stereochromie) und doch macht man so selten Anwendung davon. Befremdend ist es, daß man namentlich in München, dem Orte, wo Fuchs wirkt, dieses Verfahren gar nicht beachtet hat. In neuester Zeit ist durch Versuche dargethan worden, daß man mit Hülfe des Wasserglases die Oefen in unseren Zimmern durch Malereien verzieren kann. — Taucht man Gyps in eine Auflösung von Wasserglas, so wird er dadurch bedeutend gehärtet. Bei Gypsfiguren benutzt man zu diesem Zwecke das Wasserglas.

Aus der großen Menge der Verbindungen des Kaliumoxydes mit organischen Säuren führen wir nur einige wenige an, die im Leben Verwendung finden. Essigsaures Kali (vergl. Bd. II. S. 932). Saures weinsteinsaures Kali ($C^8H^4O^{10}$, KO, HO), Cremor tartari, erhält man aus dem rohen Weinstein, der sich bei der Gährung des Traubensaftes in dem Maße, als sich der Alkoholgehalt mehrt, eben so bei der Lagerung der Weine, scheidet durch Auflösen in Wasser und Krystallisiren. Um die in großer Menge in dem rohen Weinstein enthaltenen färbenden organischen Substanzen zu entfernen, klärt man die Lösung mit Thon. In der Pharmacie dient dieses Salz als Ausgangspunkt für verschiedene wichtige Präparate; die Weinsteinsäure findet wegen ihres angenehmen Geschmackes auch außerhalb derselben eine vielfache Verwendung. In der Färberei bedient man sich gleichfalls weinsteinsaurer Salze, doch ist jüngst durch Calvert*) dargethan, daß die Haltbarkeit der Linnen- und Baumwollengewebe durch Weinsteinsäure sehr leidet. Durch Sättigen mit kohlensaurem Kali erhält man aus dem sauren weinsteinsauren Kali das neutrale. Letzteres ist in Wasser leicht, ersteres sehr schwer löslich. Liebig hat das neutrale weinsaure Kali empfohlen, um saure Weine lieblicher zu machen**). Alte Weine enthalten neben dem sauren weinsteinsauren Kali auch noch freie Säure, die man durch Zusatz einer Lösung von neutralem weinsteinsauren Kali entfernen kann. Es bildet sich saures weinsteinsaures Kali und da hiermit der Wein gesättigt ist, so scheidet sich das neugebildete Salz vollständig ab. Liebig hat dieses Mittel bei einem Weine vom Jahre 1811 in Anwendung gebracht. Auf 1 hessische Maß (2 Litres) setzte er 7 Grammen weinsauren Kalis zu, die eine bedeutende Menge Weinstein abschieden. Die hierdurch erzielte Verbesserung des Weines war im höchsten Grade auffallend. Nach acht Tagen war der Wein an Lieblichkeit und mildem Geschmack einem südlichen Weine gleich, ohne irgend eine der Tugenden, welche den Rheinwein auszeichnen, verloren zu haben. Will man dieses Mittel zur Anwendung bringen, so muß man vorher die erforderliche Menge des Zusatzes genau erforschen, da ein Ueberschuß desselben einen schädlichen Einfluß auf den Geschmack des Weines ausübt. Vor der Gährung darf die freie Säure durchaus nicht fortgenommen werden, weil sie es ist, von deren Anwesenheit der Geschmack und die Haupteigenschaften des Weines abhängig sind. Am Rheine bringt man schon Mittel dieser Art (Pottasche, Kalk)

*) L'Institut 1854. No. 1092. p. 424.

**) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. LXV. S. 352.

in Anwendung, aber sie sind mehr schädlich als nützlich; die Säure wird durch Pottasche freilich abgestumpft, aber sie bleibt als neutrales weinsaures Kali im Weine; Kalk ertheilt dem Weine einen sehr leicht kenntlichen Beigeschmack und zudem verliert der Wein durch diese Mittel sein Aroma. — Das saure oxalsaure Kali, Sauerkleesalz (Oxalium, Sal acetosellae, $2 C^2 O^3$, KO + 2 HO) kommt in dem Safte einiger Pflanzen, die sich durch einen sauren Geschmack auszeichnen (Rumex acetosa, Oxalis acetosella) vor. Der ausgepreßte Saft wird durch Klären mit Eiweiß gereinigt und eingedampft; das Salz schießt in schiefen rhombischen Säulen an. Man verwendet es häufig zur Beseitigung von Tintenflecken, besonders in der Wäsche. — Die Eigenschaft des sauren zuckersauren Kalis (KO, $2 C^6 H^4 O^7$ + HO), Silber aus feinen Lösungen bei Gegenwart von Ammoniak als einen glänzenden Metallspiegel zu reduciren, könnte mancherlei Verwendungen in der Technik finden. Von den zahlreichen Verbindungen des Kaliums mit anderen Elementen verdienen besonders die mit Chlor, Brom, Jod und Schwefel besprochen zu werden. Chlorkalium, das in Steinsalz, Salzsoolen, im Meerwasser und in Pflanzen vorkommt, gewinnt man bei mancherlei Operationen als Nebenproduct, so bei der Darstellung des chlorsauren Kalis, aus der Mutterlauge auf Salinen, beim Seifesieden ꝛc. Das auf die zuletzt genannte Art gewonnene Salz — Seifensiederfluß oder auch Fluß genannt — benutzt man in Glashütten und Alaunwerken. Sonst dient das Chlorkalium zu Kältemischungen und zur Bereitung von Eis. Die Krystalle des Chlorkaliums sind Würfel. In der Hitze schmilzt dasselbe und verflüchtigt sich. — Jodkalium. Das in der Natur vorkommende wird zur Darstellung von Jod verwendet und aus diesem erst das Jodkalium künstlich wieder bereitet. In der Medicin wird es massenweise verbraucht. Für die Bereitung desselben hat man eine Unzahl von Vorschriften angegeben. Wir erwähnen hier nur, daß die Darstellung des Salzes viele Aehnlichkeit hat mit der des chlorsauren Kalis; durch Eintragen von Jod in Kalilauge bildet sich jodsaures Kali und Jodkalium (6 J + 6 KO = 5 KJ + KO, JO^5). Dampft man das Ganze zur Trockne ein und erhitzt den Rückstand stark, so giebt das jodsaure Kali seinen Sauerstoff ab und verwandelt sich in Jodkalium. Die im Handel vorkommenden Krystalle sind stets matt und undurchsichtig. Stephani schreibt dies *) Unreinigkeiten, nicht einer moleculären Wirkung zu. Er hat eine Darstellungsmethode angegeben, die bei Anwendung reiner Materialien stets vollkommen klare und durchsichtige Krystalle liefern soll. Diese Methode beruht im Wesentlichen auf der Reduction des jodsauren Kalis zu Jodkalium durch Schwefelwasserstoff. Er fügt der Lauge eine Menge Jod hinzu, die gleich ist derjenigen, welche vorher bis zur anfangenden Färbung eingetragen worden ist. Dann setzt er Kaliumsulphhydrat hinzu, das durch Sättigen einer der zur Auflösung des Jods verwendeten Menge gleichen Quantität Kalilauge mit Schwefelwasserstoff dargestellt worden ist. Durch Filtriren entfernt man den reducirten Schwefel und dampft die Flüssigkeit ein. — Mit dem Schwefel verbindet sich das Kalium in 5 verschiedenen Verhältnissen, je ein Atom des letzteren mit 1 bis 5 Atomen des ersteren. Glüht man schwefelsaures Kali mit Kohle (SO^3 KO + 4 C = KS + 4 CO), so erhält man das einfach Schwefelkalium (KS), eine rothe, an der Luft leicht zerfließliche Masse. Hat

*) Journ. de Chim. et de Pharm. T. XXVI. p. 450.

man Kohle im Ueberschuß angewendet, so entzündet sich die Masse in feuchter Luft sehr leicht. Das fünffach Schwefelkalium (KS^5) findet vielfach medicinische Anwendung. Es ist dies die bekannte Schwefelleber (Hepar sulphuris, Kali sulphuratum). Bereitet wird sie durch Zusammenschmelzen von kohlensaurem Kali und Schwefel. Eine reine Verbindung erhält man hier nicht, je nach der angewendeten Hitze bildet sich auch schwefel- oder unterschwefligsaures Kali, gemeinhin aber alle beide. — Die Verbindungen des Kaliums mit Metallen haben wenig Interesse. Mit manchen Metallen verbindet sich das Kalium unter Feuererscheinung.

Von den Verbindungen des Kaliums mit organischen Radikalen ist die wichtigste das Cyankalium ($K, C^2 N$) und die beiden Verbindungen desselben mit Cyaneisen (vergl. Bd. II. S. 619). Für gewöhnlich dient das gelbe Blutlaugensalz zur Darstellung des Cyankalium, sei es, daß es für sich, nachdem es vom Krystallwasser durch Trocknen befreit, geschmolzen und so lange erhitzt wird bis das Entweichen von Stickstoff aufhört und das Cyaneisen in Kohlenstoffeisen verwandelt worden ist oder sei es, daß es nach den Angaben von Liebig mit kohlensaurem Kali zusammen geschmolzen wird. Beide Methoden haben ihre Uebelstände; dort geht das mit dem Eisen verbundene Cyan verloren, hier wird es zwar gewonnen, neben dem Cyankalium aber bildet sich auch cyansaures Kali. Die folgenden Formeln geben uns eine Uebersicht von diesen Zersetzungsprocessen.

$$1)\ \underbrace{2\,(K, C^2 N) + Fe\,C^2 N}_{\text{Ferrocyankalium}} = \underbrace{2\,(K, C^2 N)}_{\text{Cyankalium}} + \underbrace{Fe\,C^2}_{\text{Kohlenstoffeisen}} + \underbrace{N}_{\text{Stickstoff.}}$$

$$2)\ \underbrace{2\,(2\,(K, C^2 N) + Fe, C^2 N)}_{\text{Ferrocyankalium}} + \underbrace{2\,(KO, CO^2)}_{\text{kohlensaures Kali}} = \underbrace{5\,(K, C^2 N)}_{\text{Cyankalium}}$$
$$+ \underbrace{KO, C^2 N}_{\text{cyansaures Kali}} + \underbrace{2\,Fe\,O}_{\text{Eisenoxydul}} + \underbrace{2\,CO.}_{\text{Kohlenoxyd.}}$$

Will man das Cyankalium rein darstellen, so sättigt man eine alkoholische Lösung von reinem Kali mit einer gleichen Lösung der Cyanwasserstoffsäure (Blausäure), wobei sich das Cyankalium ausscheidet. Dasselbe bildet sich auch, wenn man Cyangas über Kalium leitet. Es erzeugt sich in manchen Hohöfen in großer Menge, daß es mit Vortheil in den Handel gebracht wird. Durch Bunsen ist dargethan, daß sich Cyan bildet, wenn Stickstoff in der Weißglühhitze mit einem Gemenge von kohlensaurem Kali und Kohle in Berührung kommt. In der Technik scheint diese wichtige Frage noch nicht gelöst worden zu sein, obgleich Bunsen dazu beachtenswerthe Winke gegeben hat.

In der Krystallform stimmt das Cyankalium mit dem Kochsalz überein; es reagirt alkalisch, ist ein starkes Gift, und kann nur im trockenen Zustande aufbewahrt werden. Bei Gegenwart von Feuchtigkeit verwandelt es sich bald in Kohlensäure und Ammoniak. In der analytischen Chemie dient es zur Trennung verschiedener Metalle *). In der Technik wendet man das Cyankalium als Lösungs-

*) Liebig, über Darstellung und Anwendung des Cyankaliums, Ann. der Chem. und Pharm. Bd. XLI. S. 285. — Haidlen und Fresenius, über die Anwendung des

mittel bei Gold und Silber an bei der galvanischen Vergoldung und Versilberung. — Das Schwefelcyankalium, Rhodankalium ($C^2 NS^2, K$) ist das empfindlichste Reagens auf Eisen. Ein Niederschlag wird in Eisenoxydlösungen nicht bewirkt, wohl aber eine intensive blutrothe Färbung. Die Gegenwart des Eisens wird dadurch selbst in so verdünnten Lösungen nachgewiesen, daß kein anderes Reagens irgend eine Veränderung darin hervorbringt. In diesen Fällen erkennt man die rothe Färbung deutlicher, wenn man das Proberöhrchen auf weißes Papier stellt und von oben hinein sieht.

Die Gegenwart von Kali wird erkannt durch Platinchlorid und Weinsteinsäure. Durch ersteres entsteht in Kalilösungen, die durch Salzsäure sauer gemacht und mit Alkohol versetzt worden sind, ein krystallinischer gelber Niederschlag (eine Verbindung von Chlorkalium mit Platinchlorid $PtCl^2, KCl$). Dieselbe Reaction zeigten aber auch die Ammoniakverbindungen; daher muß man sich vorher überzeugen, ob solche zugegen sind und diese nöthigenfalls durch Erhitzen fortschaffen. Das Platinchlorid dient auch zur quantitativen Bestimmung des Platins. In nicht sehr verdünnten Lösungen entsteht auch durch einen Ueberschuß von Weinsteinsäure ein weißer krystallinischer Niederschlag — saures weinsteinsaures Kali, — dessen Bildung durch Schütteln beschleunigt werden kann. Bei dieser Prüfung muß aber die Kalilösung neutral sein, weil das saure weinsteinsaure Kali durch Säuren in Auflösung erhalten wird. Auch gegen Weinsteinsäure verhalten sich die Ammoniaksalze eben so wie die Kaliverbindungen. Vor dem Löthrohre erkennt man die Gegenwart von Kali sehr leicht an der violetten Farbe, die es der Flamme mittheilt; eine geringe Spur von gleichzeitig anwesendem Natron verdeckt aber diese Reaction vollständig. W. B.

Kalk, s. Calcium.

Kammer, dunkle, s. Camera obscura.

Kammer, lichte, s. Camera lucida.

Kammrad, s. Räderwerk.

Kapselbarometer, s. Barometer.

Karatirung, s. Gold.

Kastengebläse, s. Gebläse.

Katakaustische Linien, s. Brennlinie und Linsenglas.

Katoptrik, s. Optik.

Kautschuk (Caoutschuk, indianisch-südamerikanischen Ursprunges), Federharz, elastisches Harz, Gummi elasticum, Resina elastica, franz. Gomme elastique, engl. Elastic gum, India Rubber, — ist in größerer oder geringerer Menge in dem Milchsaft vieler Pflanzen enthalten. Oben an steht die Familie der Euphorbiaceen (Wolfsmilcharten), Apocyneen und der Urticeen (Nesselpflanzen). Die Hauptpflanzen, welche Kautschuk liefern, sind Siphonia Cahucu (Jatropha elastica L.), Urceola elastica Roxb., Vahea gummifera Pois, Collophora utilis Mart., Hancornia speciosa Mart., Wil-

---

Cyankaliums in der chemischen Analyse, Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLIII. S. 129. — Liebig, über die Scheidung des Nickels vom Kobalt, Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXV. S. 244. — H. Rose, über die Anwendung des Cyankaliums in der analytischen Chemie, Pogg. Ann. Bd. XC. S. 193 und Bd. XCI. S. 104.

lughbeja edulis Roxb., Ficus religiosa, indica, benjaminea L., elastica Roxb. Alle diese Pflanzen gehören der heißen Zone an; wir erhalten das Kautschuk aus Brasilien, Guyana, überhaupt aus Südamerika und Westindien; eben so wird aus Ostindien viel eingeführt und in späterer Zeit wird auch Afrika große Mengen desselben in den Handel liefern.

In dem Milchsaft einer großen Reihe europäischer Pflanzen — der syrischen Seidenpflanze (Asclepias syriaca), der Wolfsmilch (Euphorbia Cyparissias u. A.), des Salats (Lactuca sativa), des Mohns (Papaver somniferum) und daher auch im Opium, in welchem Bucholz bereits 1800 das Kautschuk auf das Bestimmteste nachgewiesen hat, Cichorien (Cichorium Intybus) und in noch anderen Gewächsen, — kommt zwar auch Kautschuk vor, aber doch nur in sehr geringen Mengen. Selbst Pflanzen, die in ihrer warmen Heimath, reichlich Kautschuk liefern, geben bei uns in Treibhäusern einen Milchsaft, der mehr einen dem Vogelleim ähnlichen Stoff enthält.

Man gewinnt den Milchsaft in Südamerika und Ostindien dadurch, daß man in den Stamm Einschnitte bis auf das Holz macht, aus denen dann der weiße, klebrige Saft reichlich fließt. Gewöhnlich überzieht man Formen aus Thon in Gestalt kleinerer oder größerer Flaschen mit dem Milchsaft, läßt den Ueberzug an der Luft trocknen und wiederholt dies so oft, bis man die erforderliche Dicke erreicht hat. Man trocknet den Saft auch am Feuer ein, wobei er durch den Rauch eine braune oder schwarze Farbe erhält, die zum Theil auch von beigemengten Unreinigkeiten herrührt. Man zerschlägt dann die Thonformen und hat nun den Kautschuk in Form von Flaschen, wie sie uns der Handel überliefert. In neuerer Zeit kommt das Kautschuk auch in Form von Halbstiefeln, die auf ähnliche Art erzeugt werden, in den Handel oder in Form von dicken Tafeln (2 Fuß lang, 1 Fuß breit und 2 bis 3 Zoll dick). Um diese Blöcke zu erhalten, läßt man den Saft wahrscheinlich in kleinen Gruben am Fuße der Bäume eintrocknen. Schneidet man eine solche Tafel durch, so zeigt das Innere die weiße Farbe des reinen Kautschuk (Speckgummi). Das Innere ist porös, dem Käse sehr ähnlich und besitzt einen fauligen Geruch.

Die Pflanzen der drei genannten Familien zeigen einen eigenthümlichen anatomischen Bau. Die Rinde und zum Theil auch das Mark wird von einer großen Zahl röhrenförmiger Gefäße durchzogen, die in ihrer vielfachen Verästelung den Adern des thierischen Körpers sehr ähnlich sehen. Dieser Umstand gab dem durch seine sonderbaren Ideen hinreichend bekannten Berliner Professor Schulz Veranlassung den darin enthaltenen Milchsaft, gleich dem Blute bei den Thieren, für den Lebenssaft der Pflanzen anzusehen.

Der in diesen Gefäßen enthaltene Saft ist trübe und besitzt die Consistenz einer recht fetten Milch; wie diese besteht auch er aus einer klaren Flüssigkeit, in der eine große Menge kleiner Kügelchen (eben das Kautschuk) umherschwimmen. Das Zusammenfließen derselben wird wie bei der thierischen Milch das der Fettkügelchen durch eine eiweißartige Substanz verhindert und eben so wie diese setzen auch jene sich in der Ruhe an der Oberfläche ab. Jetzt kommt auch der Milchsaft, welcher durch Eintrocknen Kautschuk liefert, als solcher, sei es in kupfernen Behältern oder in Flaschen aus Kautschuk selbst mehr als sonst in den Handel. Die Zusammensetzung desselben ist nach Faraday folgende: 31,7 Kautschuk, 1,90 Eiweiß, 7,13 einer sehr bittern, stickstoffhaltigen Substanz, 2,9 eines nicht in

Alkohol löslichen Extractivstoffes und 56,37 Wasser mit etwas Säure. Der Saft hat die Eigenschaft beim Erhitzen oder bei Zusatz von Alkohol zu gerinnen; Alkalien dagegen bewirken dies nicht. Der Saft besitzt einen säuerlichen, fauligen Geruch, der davon herrührt, daß das Eiweiß zum Theil bereits in Fäulniß übergegangen ist. Setzt man den Saft in dünnen Lagen der Luft aus, so erhärtet er bald und verwandelt sich in ein zähes, braungelbes Kautschuk. Das spec. Gew. des Saftes beträgt 1,01174.

In neuerer Zeit hat Adriani Gelegenheit gehabt den frisch ausgeflossenen Milchsaft von Ficus elastica, aus welchem in Ostindien bedeutende Mengen von Kautschuk gewonnen werden, näher zu untersuchen *). Er fand, daß der Saft um so wässeriger ist, je näher der Theil, aus welchem er stammt, dem oberen Ende der Pflanze liegt. Dies giebt sich schon in dem äußeren Ansehen zu erkennen. Der Gehalt an festen Stoffen differirte in den aus verschiedenen Höhen erhaltenen Säften ziemlich bedeutend (zwischen 17,7 und 25,15 Proc.). Der frische Milchsaft reagirt sauer; setzt man etwas Wasser hinzu, so entsteht keine Veränderung. Beim Zusatz von Alkohol scheiden sich viele kleinere nadelförmige Krystalle aus, die sich in Gruppen mit einander vereinigen. Diese Krystalle sind eine Verbindung der Talkerde mit einer eigenthümlichen organischen Säure, die aber nicht näher erforscht worden ist. Setzt man Aether hinzu, so findet dieselbe Ausscheidung statt; außerdem aber gehen die Kügelchen zusammen. Salpetersäure bewirkt in dem Saft einen geringen weißen Niederschlag, der sich in Ammoniak nicht wieder auflöst; durch Zusatz von Ammoniak oder Kali färbt sich die Flüssigkeit gelb. Die durch Alkali gelb werdende Substanz hält Adriani für dieselbe, welche durch Salpetersäure niedergeschlagen wird; Eiweiß oder eine andere Proteinverbindung soll es nicht sein. Faraday giebt zwar an, daß er Pflanzeneiweiß im Kautschuk-Milchsaft gefunden habe, Ure hat aber später diese Substanz nicht darin angetroffen. Adriani überzog mit dem ihm zu Gebote stehenden Safte Glastafeln; beim Austrocknen der dünnen Lagen blieb ein häutiger Ueberzug.

Die Zusammensetzung dieses Milchsaftes giebt Adriani folgendermaßen an. Wasser 82,3, Kautschuk 9,57, Harz (in Alkohol, aber nicht in Aether löslich) 1,58, Talkerdesalz einer organischen Säure und ein in Wasser und Alkohol, aber nicht in Aether löslicher Stoff (Zucker?) 0,36, eine in Wasser lösliche Substanz, die, die mit Alkalien gelb wird, Dextrin (?), Spuren von Kalk- und Natronsalzen 2,18 = 100,48.

Um reines Kautschuk darzustellen, vermischt man den Saft mit dem 4fachen Gewicht Wasser; die Kautschukkügelchen setzen sich dann in der Ruhe gleich dem Rahm auf der Oberfläche ab und werden durch Waschen mit Wasser möglichst von allen Verunreinigungen befreit. Das dem Kautschuk nun mechanisch beigemengte Wasser muß durch poröse Körper (Gyps, Ziegelsteine) oder durch Anwendung von Wärme entfernt werden, da es das Zusammengehen der Kügelchen verhindert. Je mehr man das Wasser entfernt, um so zäher und zusammenhängender wird die Masse und zuletzt kann man die letzten Antheile des Wassers durch Kneten entfernen. Adriani stellte das reine Kautschuk leicht dar durch Auflösen des käuf-

*) Verhandeling over de Gutta Percha en Cautchouc en derselver verbanding etc. Utrecht 1850; im Auszuge chem. pharm. Centralbl. 1851. S. 17.

lichen in Chloroform und Fällen mit Alkohol. In diesem Zustande besitzt es große Aehnlichkeit mit Gummi arabicum. In dünnen Lagen ist es durchsichtig und weiß, in dickeren gelblich. Das gereinigte Kautschuk enthält nach Adriani 0,333 Proc. unorganische Stoffe. Das specifische Gewicht giebt Faraday zu 0,925 an. Nach diesem ist das Kautschuk ein Kohlenwasserstoff ($C^8 H^7$). Dieselbe Zusammensetzung giebt Payen an, während Soubeiran die Formel $C^{12} H^{10}$ aufstellt, wobei jedoch die procentischen Zahlen der Bestandtheile nur sehr wenig differiren. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß das Kautschuk ein Gemenge verschiedenartiger Verbindungen ist.

Sobald die Kautschukkügelchen einmal zusammengegangen sind und eine zusammenhängende Masse bilden, so können sie auf keine Weise wieder in den früheren emulsionsartigen Zustand zurückgeführt werden. Summers giebt zwar an, daß dieser Zweck durch Anwendung von Ammoniak erreicht werden könne, aber Adriani konnte eine solche Zertheilung hierdurch nicht bewerkstelligen, eben so wenig auf irgend eine andere Weise.

Nach Payen *) unterscheidet man im Handel folgende Sorten von Kautschuk: 1) den weißen, undurchsichtigen, in mehr oder weniger umfangreichen Massen, 2) in unregelmäßigen, schwachgelblichen und durchscheinenden Blättern oder Platten, 3) in dicken Blättern oder kugeligen, hohlen oder vollen Massen, von graubrauner und matter Farbe, 4) in den vorigen Formen, aber braun, beim Zerschneiden in dünne Stücken mehr oder weniger durchscheinend und fahlgelb. Unterm Mikroskop beobachtet man an den sehr dünnen Platten zahlreiche, unregelmäßig rundliche Poren, welche mit einander in Verbindung stehen und durch Einsaugung von Flüssigkeit erweitert werden. Dünne Schnitte der ersten beiden Sorten dreißig Tage hindurch in Wasser getaucht, absorbirten die eine 18,7, die andere 26,4 Proc. Wasser. Die erstere nahm in der Länge um 5 Proc. und an Volumen um 15,75 Proc. zu. Dickere Massen erfordern längere Zeit, um sich mit Wasser zu sättigen; um die Flüssigkeit dann wieder vollständig zu entfernen, ist eine lange Zeit erforderlich, denn da die oberen Schichten zuerst austrocknen, ziehen sich die Poren darin beträchtlich zusammen und verhindern das weitere Austrocknen der inneren Theile.

Bei Käufen hat man diese Wässerung sehr zu berücksichtigen, da der wirkliche Werth dadurch um 18 bis 26 Proc. vermindert werden kann und die dadurch entstehende weißere Farbe scheinbar eine bessere Sorte anzeigt. Die Gegenwart des Wassers verhindert ferner das Eindringen der Lösungsmittel und vermindert die Zähigkeit des Kautschuks eben so wie seine Dehnbarkeit. Die Weiße und Undurchsichtigkeit des Kautschuks rührt im Allgemeinen nur von dazwischen gelagertem Wasser her, denn ein vollkommenes Austrocknen genügt, um die Färbung und Durchsichtigkeit hervorzubringen.

Wasserfreier Alkohol durchdringt Kautschuk eben so leicht und durchsichtige Stücke werden ebenfalls mit der Zeit undurchsichtig. Das Kautschuk erlangt durch Einweichen in Alkohol eine bemerkenswerthe, adhärirende Eigenschaft, die zum Theil selbst nach dem Verdampfen des Alkohols bleibt.

Die vorzüglichste Eigenschaft des Kautschuks ist seine ungemeine Elasticität;

*) Compt. rend. T. XXXIV. p. 2.

in der Kälte wird es zwar hart und steif, beim Erwärmen aber gleich wieder biegsam; Sprödigkeit zeigt es nie. Fäden oder Riemen, die bei + 15 oder 25° ausgespannt und bis auf 0° abgekühlt sind, behalten ihre Ausdehnung und Steifigkeit bei gewöhnlicher Temperatur bei; sie ziehen sich aber plötzlich wieder zusammen und nehmen ihre ursprüngliche Elasticität wieder an, wenn sie bis auf 35 oder 40° erwärmt werden. Von diesen Eigenschaften macht man bei der Anfertigung elastischer Gewebe vortheilhafte Anwendungen. In warmem Wasser quillt das Kautschuk zwar auf, ist aber nicht im geringsten darin löslich, eben so wenig in Alkohol; in alkoholfreiem Aether jedoch löst es sich nach und nach auf oder vielmehr es wird nur äußerst fein darin zertheilt; durch Alkohol wird es wieder niedergeschlagen. Von fetten Oelen wird es nur in geringer Menge aufgelöst. Die besten Lösungsmittel sind: harz- und wasserfreies Terpentinöl, rectificirtes Steinöl, das leichte Steinkohlentheeröl und das Oel, welches man durch trockene Destillation des Kautschuks selbst erhält. Ein besseres Lösungsmittel als das gewöhnliche Terpentinöl, soll das sogenannte Tannenzapfenöl (Oleum abietinum, aus den Zapfen von Pinus Abies gewonnen), das dünnflüssiger ist, abgeben.

Drückt man zwei frischgeschnittene Stellen fest an einander, so haften sie der Art aneinander, daß dadurch selbst ein luftdichter Verschluß gebildet wird. Diese Eigenschaft macht das Kautschuk für den Chemiker unentbehrlich; auf die leichteste Art stellt er Röhren dar, mit Hülfe deren er Gasleitungen luftdicht verbindet oder mancherlei complicirte Apparate herstellt. Man legt einfach ein kleines Stück der Kautschukplatte über eine Glasröhre von passendem Durchmesser so zusammen, daß beide Ränder flach auf einander liegen und schneidet diese dann mit einer scharfen Scheere auf einmal ab. Klaffen die Schnittflächen noch etwas, so drückt man sie sorgfältig an einander und die Röhre ist fertig. Hierbei kommt noch der Umstand zu Gute, daß das Kautschuk so leicht nicht durch Flüssigkeiten und Dämpfe angegriffen wird; Chlor, Salzsäure, viele andere Säuren, kaustische Alkalien wirken auf Kautschuk nicht ein. Concentrirte Schwefelsäure bewirkt eine Verkohlung der Oberfläche und bei höherer Temperatur eine weitere Zersetzung; es entwickelt sich schweflige Säure und das Kautschuk wird weich wie Terpentin. Durch Salpetersäure wird das Kautschuk gelb gefärbt; in der rauchenden Säure löst es sich unter Entwickelung von Stickstoffoxydgas. Sehr schnell wird das Kautschuk auch zersetzt durch ein Gemenge von concentrirter Schwefelsäure und Salpetersäure. — Das Kautschuk ist ein schlechter Leiter der Elektricität, während es selbst durch Reiben — elektrisch wird.

Adriani giebt das spec. Gew. des käuflichen Kautschuks bei 20° C. zu 0,9628 für Speckgummi und zu 0,9454 für Flaschengummi an. Erhitzt man Kautschuk für sich, so wird es schon bei 50° weich, bei 100 bis 120° noch mehr, bei 150° bleibt es an trockenen Körpern hängen; bis zu diesen Temperaturen erwärmt nimmt es beim Erkalten seine vorige Beschaffenheit wieder an. Steigert man aber die Hitze weiter, so fängt es bei 200° an zu schmelzen, wird sehr klebrig und behält diese Eigenschaft auch nach dem Erkalten. Bis 230° erwärmt bildet es eine schmierige Masse, mit der man Stahl überzieht, um ihn vor Rost zu schützen. Bei Luftzutritt läßt es sich entzünden und brennt dann mit heller, rußender Flamme. Eben so in Salpetersäuredampf. Speckgummi hinterläßt nach Adriani 0,487 Proc. Asche.

Bei der trocknen Destillation erhält man aus dem Kautschuk Oele von ver-

schiedener Flüchtigkeit, die aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Bevor sich die Wissenschaft mit der Erforschung dieser Frage beschäftigte, wurde die trockne Destillation des Kautschuks bereits in der Technik ausgeführt. Enderby in London ließ sich Anfangs der dreißiger Jahre diesen neuen Industriezweig patentiren. Bei vorsichtiger Destillation des Kautschuks und durch Rectification des ersten Destillates erhielt er eine farblose, eigenthümlich ätherisch riechende Flüssigkeit von 0,68 spec. Gew., deren Siedepunkt unter 38° C. lag. Diese Flüssigkeit diente unter dem Namen Cautschoucine besonders zur Auflösung des Kautschuks und zur Darstellung von Firnissen. Bei der trocknen Destillation sollen 88 bis 92 Proc. dieses Oeles gewonnen werden. Bei der fabrikmäßigen Darstellung muß wegen der äußerst leichten Entzündlichkeit der sehr flüchtigen Dämpfe große Vorsicht angewendet werden; der Destillirapparat und die Vorrichtung zum Verdichten der Destillationsproducte müssen daher in getrennten Räumen aufgestellt werden. Sobald die Operation vollendet, läßt man die Retorte vollständig erkalten und vermeidet sorgfältig mit einem brennenden Lichte an den Ort zu gehen, wo diese Oeldämpfe sich befinden.

Darauf beschäftigten sich Chevallier, Trommsdorff, Gregory, Dalton und Andere mit dem Studium der Destillationsproducte des Kautschuks, ohne aber die Frage ins Reine zu bringen. Sie erhielten zwar verschiedene Oele von verschiedener Flüchtigkeit, die jedoch immer noch mehr oder weniger Gemenge verschiedener Substanzen waren. Näheren Aufschluß darüber erhielten wir durch Himly *) und Bouchardat **), deren Resultate jedoch nicht ganz mit einander übereinstimmen. Bouchardat leitete die Destillationsproducte durch drei Flaschen, die durch Kältemischungen abgekühlt wurden. Aus einem Pfund Kautschuk erhielt er in der ersten Flasche 14 Unzen und in den beiden anderen eine Unze der Destillationsproducte.

Die erste wissenschaftliche Nachricht über das Kautschuk und seine Gewinnung kam durch La Condamine 1726 nach Europa; 1751 gab Fresneau genauere Kunde über den Baum und seine Verbreitung, die Aublet du Petit-Thouars weiter vervollständigte. Zwar kam das Kautschuk bald in den Handel und in den Gebrauch, aber für Jahrzehnte diente es einzig zum Auslöschen von Bleistiftstrichen, während seine Verarbeitung jetzt Tausenden reichlichen Lohn gewährt. Mit der Zeit lernte man aus den vortrefflichen Eigenschaften des eingetrockneten Pflanzensaftes weiteren Nutzen zu ziehen. 1790 verwendete man es bereits zur Anfertigung dehnbarer Binden; man hatte auch bereits gelernt es zu erweichen und wasserdichte Gewebe herzustellen. 1791 machte Grassart Röhren aus Kautschuk, indem er frischgeschnittene Stücke schraubenartig um einen Dorn wickelte; 1820 zog Stadler das Kautschuk zu feinen Fäden aus, die übersponnen zur Anfertigung elastischer Gewebe verarbeitet wurden. Bald darauf brachte Macintosh die nach ihm benannten wasserdichten Zeuge auf den Markt, die zwar in kurzer Zeit die Runde durch die ganze civilisirte Welt machten, eben so

*) De Cautschuk ejusque destillationis siccae productis et ex his de Cautschino, novo corpore ex hydrogenio et carboneo composito. Göttingen 1835. — Liebig's Annalen. Bd. XXVII. S. 40.

**) Liebig's Ann. Bd. XXVII. S. 30.

schnell aber auch wieder in Ungunst geriethen, da die daraus gefertigten, enganliegenden Kleider sich nicht als praktisch bewährten. Eben so wie diese Stoffe das Durchdringen des Regens abhielten, hinderten sie auch den Durchgang der Körperausdünstungen, so daß man beim Gehen völlig durchnäßt wurde, wenn freilich auch nicht vom Regen.

Schon jetzt machte das Kautschuk einen wichtigen Factor der englischen Fabrikthätigkeit aus. So wurden z. B. 1829 fast 100,000 Pfund eingeführt, 1830 nur über 52,000 Pfd., 1833 aber 178,000 Pfd. In den letzten zehn Jahren, seitdem 1843 der englische Fabrikant Hancock das merkwürdige Verhalten des Kautschuks gegen Schwefel entdeckte, hat die Verarbeitung dieses Pflanzensaftes einen ungeahnten Aufschwung erhalten. Sind seitdem auch die Einfuhren bedeutend gestiegen, so dürfen wir doch einen Mangel dieses vortrefflichen Materials nicht befürchten. Nach den sorgfältigen Untersuchungen, welche die ostindische Compagnie nach der Besitznahme von Assam hat anstellen lassen, würde dieses Land allein ausreichen, allen Handelsbedürfnissen zu genügen. In dem Walde von Tarai fand man auf einer Länge von 30 Meilen und einer Breite von 8 Meilen allein über 42,000 Kautschukbäume (Ficus elastica, von den Einwohnern Borgach genannt). Nach 2 bis 3 Tagen hört zwar das Ausfließen des Saftes auf, weil eine Schicht von Kautschuk die Wunde bedeckt, aber nach 18 bis 20 Tagen kann man die Operation wiederholen. Die Einwohner schätzen die Menge des Saftes, welche ein einzelner Baum liefert, bis zu 400 Pfd. Rechnen wir mit Griffith den Ertrag eines jedes Einschnittes auf 40 Pfd. und den Gehalt an Kautschuk mit Roxburgh darin zu 31 Proc., so liefern 20,000 Bäume mit je 4 Einschnitten bei einer 2maligen Operation nicht weniger denn 18,000 Ctr. Kautschuk. Nach Brockedon verbreitet sich die Ficus elastica in Assam über einen Raum von mehr als 10,000 englische Quadratmeilen, eben so häufig ist die Urceola elastica auf den Inseln des indischen Archipels. Der letztere Baum wächst so rasch, daß er in 5 Jahren eine Höhe von 200 Fuß und im Stamme eine Dicke von 20 bis 30 Zoll erreicht. Ohne Schaden für das Gedeihen vermag er in einem Jahre 50 bis 60 Pfd. Kautschuk zu liefern. Edwards berichtet, daß er einen Eingebornen antraf, der aus 120 Bäumen 2 Gallons Milchsaft sammelte; dies konnte Monate lang wiederholt werden, während die genannte Menge hinreichte, um zehn Paar Schuhe daraus anzufertigen.

Der Verarbeitung des Kautschuks geht gemeinhin eine Operation voraus, deren Zweck ist, das Material zu reinigen und zu größeren Blöcken, in der Regel von 1 Quadratfuß Querschnitt und 8 bis 10 Fuß Länge, zu vereinigen. Zu dem Ende wird das käufliche Material zuerst zerkleinert und mit warmem Wasser (27° C.) sorgfältig gewaschen. Das bei 33° wieder getrocknete Kautschuk bringt man dann in Mengen von 30 Pfund in den Wolf, wo es zu einer Masse zusammengeknetet wird. Die Maschine, in der diese Operation vorgenommen wird, besteht aus einem horizontal liegenden eisernen Cylinder, der mit zollang hervorstehenden Zähnen besetzt und mit einem Mantel umgeben ist. Der Zwischenraum zwischen beiden beträgt nur $2^1/_2$ Zoll und in diesem befindet sich das Kautschuk. Durch eine Dampfmaschine von 5 Pferdekraft wird der innere Cylinder in Rotation versetzt, so daß in einer Minute 60 bis 100 Umdrehungen ausgeführt werden. Das Kautschuk, welches fest an dem Cylinder anhaftet, wird einmal umgedreht, während der Cylinder selbst 30 bis 40 Mal umläuft, wobei er das Kautschuk

zerreißt, erwärmt und zusammenknetet. Nach 10 Minuten ist die Arbeit vollendet. Nimmt man die Masse heraus, so besitzt sie eine Dicke von 7½ Zoll und eine Länge von über 15 Zoll, während der Abstand zwischen Cylinder und Mantel nur 2½ Zoll und die Länge des Cylinders nur 13 Zoll beträgt. Erwärmt man den Cylinder durch Dampf auf 40 bis 45° C., so wird dadurch die Operation bedeutend erleichtert.

Größere Blöcke stellt man dadurch her, daß man eine gewisse Anzahl (3 oder 4) der kleineren Ballen bis auf 50° erwärmt und dann 6 bis 8 Tage unter einer hydraulischen Presse einem starken Druck aussetzt. Die hier erhaltenen Tafeln werden auf gleiche Weise wieder zu mehreren mit einander vereinigt und dann vor dem weiteren Verarbeiten möglichst lange aufbewahrt. Diese großen Blöcke zerschneidet man auf folgende Weise in Blätter. Man heftet den Block mit Kautschukteig auf einen in horizontaler Richtung verschiebbaren Schlitten einer Schneidmaschine. Ein Gegengewicht treibt den Schlitten vorwärts gegen ein sehr scharfes horizontales Messer, das 8 bis 900 Mal in der Minute hin und hergeht. Um das Erhitzen und Ankleben des Kautschuks zu verhindern, läßt man fortdauernd einen feinen Strahl von kaltem Wasser auf die Klinge laufen. Mittelst Schrauben wird der Schlitten so gestellt, daß die Platten stets die gewünschte Dicke erhalten. Erwärmt man die einzelnen Blätter auf 40° und macht man an den Enden frische Schnittflächen, so kann man sie beliebig zusammenkitten.

Solche Platten werden auf einer besonderen Schneidemaschine durch zwei kreisförmige Klingen leicht zu Fäden und Bändern von beliebiger Stärke spiralförmig zerschnitten. Um das Weben der Fäden zu erleichtern, macht man sie durch Ausspannen und Erkalten unelastisch. Erwärmt man diese fertigen Gewebe auf 45°, so erlangt das Kautschuk seine frühere Elasticität wieder. Das Kautschuk kann auch förmlich wie Metalldraht mittelst eines Zieheisens zu sehr schönen und gleichmäßigen Fäden ausgezogen werden, wenn man das Material in Schwefelkohlenstoff aufquellen läßt, dem 5 Proc. Alkohol von 85 Proc. zugesetzt worden sind. Trotz des Aufquellens erhält die Masse doch wegen des Wassergehaltes im Lösungsmittel mehr Zusammenhang. Feinere Fäden stellt man dadurch dar, daß man dieselbe auf das Sechsfache auszieht und auf 100° erwärmt; das Kautschuk hat nämlich die merkwürdige Eigenschaft dann die Länge beizubehalten, die ihm durch die Ausspannung gegeben wurde. Nach dem Erkalten kann man dasselbe Verfahren mit gleichem Erfolge beliebig wiederholen, bis die gewünschte Feinheit erreicht ist. Nach einer sechsmaligen Wiederholung beträgt z. B. die Länge, wenn wir die ursprüngliche = 1 setzen, schon 16625.

Mittelst heißer Walzen, die nach und nach enger gestellt werden, kann man Blätter von beliebiger Feinheit erhalten. Um das Zusammenkleben zu verhindern, läßt man sie von den Walzen in kaltes Wasser gehen oder man bestreut sie mit Talkpulver. Preßt man die vorher mit recht zäher Kautschuklösung bestrichenen Ränder solcher Platten heiß zusammen, so erhält man Gefäße, Säcke, Luftkissen rc., wobei das Aneinanderheften der übrigen Fläche auf angedeutete Weise verhindert wird. Dadurch, daß man diese äußerst dünnen Blätter auf Gewebe legt und beide wieder durch das Walzwerk gehen läßt, erhält man sehr dauerhafte wasserdichte Zeuge. Die weniger werthvollen Stoffe dieser Art stellt man auf ähnliche Weise mit Lösungen des Kautschuks in Steinkohlentheeröl oder Schwefelkohlenstoff dar.

Sollen aus dem Kautschuk Bälle oder Kugeln angefertigt werden, so wird das Material, so wie es den Wolf verläßt, auf einer Reibe, die 5 bis 600 Umdrehungen in der Minute macht, in kleine Stücken zerrissen. Diese werden durch die Operation beträchtlich erwärmt und lassen sich daher sehr gut zu einer festen Masse vereinigen, wenn man sie in eine Form einpreßt und dann längere Zeit einem starken Druck aussetzt, der dadurch erreicht wird, daß man die beiden hohlen Hälften der Form mit Schrauben fest anzieht. Man wendet hierbei auch Kälte an; die dadurch hervorgebrachte Härte der Masse wird durch warmes Wasser wieder aufgehoben. Oft überstreicht man solche Kugeln mit einer Auflösung von Kautschuk und rollt sie in die Scheerwolle, die sich als Ueberzug darauf anlegt.

Eine wichtige Rolle spielt die Auflösung des Kautschuks, deren man sich auf die verschiedenartigste Weise bedient; als z. B. zu Ueberzügen bei vielen Substanzen, theils um sie wasserdicht zu machen oder vor der Einwirkung des Wassers oder der Luft zu schützen (Gewebe allerlei Art, Leder, Schuhe, Stiefeln, Schläuche von Hanf oder Leder, Thauwerk der Schiffe, Mauern ꝛc.), ferner als Leim in der Kunsttischlerei, bei der Anfertigung musikalischer Instrumente ꝛc., als Firniß. Man kann eigentlich nicht sagen, daß das Kautschuk durch die bereits angeführten Mittel wirklich aufgelöst werde. Die verschiedenen Flüssigkeiten dringen nur sehr schnell in die Poren der festen Masse ein und schwellen diese sehr auf, daß sie zwar gelöst erscheint, in Wahrheit aber ist die vermeintliche Lösung nur das Resultat einer Zwischenlagerung des aufgelösten Theiles in dem stark aufgequollenen, der die ursprüngliche Form vergrößert beibehalten hat und dann leicht zu trennen ist, wenn man das Lösungsmittel in hinreichender Menge angewendet hat.

Die leicht löslichen Theile variiren zwischen 0,3 und 0,7 je nach der Beschaffenheit des Kautschuks und der Natur des Lösungsmittels, aber die Eigenschaften der beiden Theile bleiben verschieden nach ihrer Trennung und Verdampfung der Flüssigkeit. Die ungelöste Substanz ist weniger anhaftend, aber zäher und hält zumeist den färbenden Stoff zurück; die lösliche Substanz dagegen, besonders die zuerst gelöste, ist viel anhaftender, weicher, weniger elastisch, zähe und gefärbt. Beim Terpentinöl genügen Spuren von darin enthaltenem Harz, um die beiden Producte anhaftend zu machen und das, was gelöst worden ist, lange Zeit klebrig zu lassen. Das Klebrigbleiben soll man nach Du Menil *) dadurch leicht fortschaffen können, daß man den Stoff, der mit Kautschuklösung getränkt worden ist, in kochenden Alkohol taucht, der das Harz, die Ursache der andauernden Schmierigkeit, entfernt. Nach Lüdersdorff vermehrt ein geringer Zusatz von Schwefel oder Schwefelkalium die Auflösungsfähigkeit des Terpentinöls bedeutend. Aus der Lösung in Terpentinöl stellt man durch Verdampfen des Lösungsmittels weiche Ueberzüge und gleichförmige Platten dar.

Wendet man einen großen Ueberschuß des Lösungsmittels an, so ist die Volumenvergrößerung des ungelösten Theiles sehr beträchtlich. Bei Benzin, wasserfreiem Aether, Terpentinöl und einer Mischung von 100 Schwefelkohlenstoff und 4 gewässertem Aether beträgt die Ausdehnung das 27fache des ursprünglichen Volumens; bei kaltem rectificirten Steinöl das 30fache. Der Theil, welcher am meisten den Auflösungsmitteln widersteht, stellt nach Payen **) unterm

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XI. S. 127.
**) Compt. rend. T. XXXIV. p. 2.

Mikroskop bei einer 300fachen Vergrößerung ein netzartiges Gewebe dar, dessen verschlungene Fäden sich ausdehnen und aufschwellen bei der Absorption der Flüssigkeit und sich zusammenziehen in dem Maße, als die Verdampfung vor sich geht. Auch die Auflösungen nehmen diese merkwürdige Textur an, die beim Anwässern des Rückstandes deutlicher hervortritt.

Als das beste Lösungsmittel giebt Payen ein Gemisch von 6 bis 8 Th. wasserfreiem Alkohol und 100 Th. Schwefelkohlenstoff an. Setzt man das angegebene Verhältniß des Alkohols zu einer dicken, gallertartigen, undurchsichtigen Lösung von Kautschuk in Schwefelkohlenstoff, so beobachtet man eine Schmelzung und ein rasches Klären. Diese Veränderungen hängen von der Auflösung des fetten Stoffes durch Alkohol und von der größeren Vertheilung aller Theile ab. Wird dieser klebrigen Flüssigkeit das zweifache Volumen wasserfreien Alkohols zugesetzt, so schlägt sich aller Kautschuk nieder. Der dicke und zähe Niederschlag löst sich leicht wieder in Schwefelkohlenstoff und wiederholt man dasselbe Verfahren mehrmals, so bewirkt man eine vollständigere Reinigung und durchsichtigere Lösung.

Weicht man die Flaschen, wie sie im Handel vorkommen, in Aether, Stein- oder Rosmarinöl ein, so kann man sie beträchtlich aufblasen. Mitchell erweiterte eine solche, die $3^1/_2$ Quentchen wog und so groß war wie eine Wallnuß, bis zu einem Durchmesser von 15 Zoll; er fertigte selbst Blasen bis zu 6 Fuß Durchmesser, deren eine mit Wasserstoffgas gefüllt, 130 engl. Meilen weit flog. Sehr leicht soll man diese Erweiterungen erzielen, wenn man die mit einem Hahn versehenen Flaschen in kochendem Wasser erweicht und dann auflöst.

Löst man geringe Mengen von Kautschuk in fetten Oelen (Rüböl), so erhält man eine sehr gute Maschinenschmiere, die sich besonders dadurch auszeichnet, daß sie fast bei allen Temperaturen flüssig bleibt und sich nicht so leicht als reines Oel aus den Lagern wegdrängt.

Schon oben haben wir angeführt, daß das Kautschuk ein merkwürdiges Verhalten gegen Schwefel zeigt; beide geben nämlich eine Verbindung ein und durch diese Aufnahme von Schwefel erlangt das Kautschuk die vortreffliche Eigenschaft, so zu sagen unempfindlich gegen die Einflüsse der Temperatur zu werden; d. h. es bewahrt seine Geschmeidigkeit und Elasticität selbst unter 0° und durch eine Wärme von 35 bis 40° C. wird es nicht weich und klebend, ja es bleibt sogar bei 100° unverändert; eben so wird es auch durch die Lösungsmittel weit weniger oder auch gar nicht angegriffen. Das geschwefelte Kautschuk führt den Namen „vulkanisirtes Kautschuk.“ Aus den angeführten Gründen hat die Anwendung dieses Stoffes eine so außerordentliche Wichtigkeit erlangt, daß dadurch mancherlei neue Industriezweige hervorgerufen worden sind.

Wie schon angedeutet, war es ein englischer Fabrikant, der diese wichtige Entdeckung machte. In der ersten Zeit tauchte man Kautschukplatten von 1 bis $4^1/_4$ Linien Dicke in geschmolzenen Schwefel und ließ sie 2 bis 3 Stunden bei einer Temperatur von 112 bis 116° darin liegen. Der Schwefel dringt schnell in die Poren des Kautschuks, so daß das Gewicht desselben um 10 bis 15 Proc. zunimmt. Eine bemerkenswerthe Veränderung in den Eigenschaften der organischen Substanz tritt nicht ein; man kann sie formen und auf ihren frischen Schnitten vereinigen wie im normalen Zustande. Nach der Entfernung aus dem Schwefel

erwärmt man die Platten in einem indifferenten Mittel bis auf 135, 150 oder 160° und hierbei ist die Umwandlung in einigen Minuten beendet. Verlängert man die Einwirkung dieser hohen Temperatur zu sehr, so wird das Product allmälig weniger geschmeidig, weniger elastisch und bald hart und zerbrechlich. Dasselbe tritt auch ein, wenn man die Platten in Schwefel selbst so hoch erwärmt; hier steigt die Menge des aufgenommenen Schwefels allmälig, so daß sie nach 24 Stunden fast das gleiche Gewicht der organischen Substanz beträgt.

Anstatt den flüssigen Schwefel eindringen zu lassen, kann man das Kautschuk auch mittelst einer Reibvorrichtung mit 12 oder 20 Proc. fein gepulvertem Schwefel verbinden und dann bis zu dem zur Vulkanisation nöthigen Grade erwärmen. Man wendet hierbei auch andere Schwefelverbindungen oder Gemenge an, wie z. B. 7 Proc. Schwefelblumen und 5 Proc. Bleiweiß, Schwefelarsen und Schwefel oder Schwefelantimon, die man mit Kautschuk in dem oben beschriebenen Wolf zusammenknetet. Bei Anwendung von Schwefelantimon (Antimonkermes) soll ein Brüchigwerden bei zu langer Erwärmung nicht eintreten.

Ist zu viel Schwefel aufgenommen, so verliert das Kautschuk mit der Zeit seine Elasticität, namentlich wenn diese häufig und in hohem Grade in Anspruch genommen wird und es reißt dann bei schwacher Ausdehnung kurz ab. Das Innehalten der richtigen Grenze wird durch die von Parkes angegebene Methode der kalten Vulkanisation erleichtert. Man taucht hier das Kautschuk oder die daraus angefertigten Gegenstände ein oder zwei Minuten lang in eine Mischung von 1 Th. Schwefelchlorür und 40 Th. Schwefelkohlenstoff und wäscht mit lauwarmem Wasser rasch ab. Gérard hat auch ein anderes Verfahren angegeben, welches im Interesse der Gesundheit und der Regelmäßigkeit der Operation, so daß eine ungleiche Schwefelung der organischen Substanz vermieden wird, vorzuziehen ist. Die zu vulkanisirenden Stoffe werden in einem verschlossenen Gefäße drei Stunden hindurch in eine 25° Beaumé starke und auf 140° erwärmte Lösung von drei- oder fünffach Schwefelkalium eingetaucht und dann mit einer alkalischen Lösung und Wasser abgewaschen. Man hat hierbei nicht zu fürchten, daß sich ein Ueberschuß von Schwefel mit dem Kautschuk verbindet. Diese Methode wäre sehr zu empfehlen, zumal es sich zeigt, daß im Handel viel fehlerhaft bereitetes vulkanisirtes Kautschuk vorkommt, das die guten Eigenschaften, die man an diesem Präparat sonst rühmt, keineswegs besitzt.

Ist die richtige Grenze nicht überschritten, so werden nach Payen *) von dem Kautschuk nur 1 bis 2 Proc. Schwefel in inniger Verbindung zurückgehalten. Der Ueberrest findet sich einfach in den Poren eingelagert; er wird durch mechanische Einwirkung, durch das abwechselnde Ausdehnen, welches die Poren zusammenzieht und durch das Zusammenziehen, welches sie öffnet, allmälig entfernt. Schneller und vollständiger erreicht man dies durch heiße Lösungen von Kali oder Natron, wasserfreiem Aether, Schwefelkohlenstoff, Terpentinöl und Benzol. Die drei letzteren Flüssigkeiten schwellen die Masse bis zum acht- oder neunfachen Volumen auf und entfernen den Schwefel, ohne ihn an der Oberfläche abzusetzen, wie dies der Aether thut. Diese Entschwefelung muß alle Mal vorgenommen werden, wenn das vulkanisirte Kautschuk bei seiner Verwendung mit Metallen in Berührung

*) Compt. rend. T. XXXIV. p. 453.

kommt, auf welche sonst der eingelagerte, nicht verbundene Schwefel einwirken würde. Nicht entschwefeltes Kautschuk, besonders wenn es hohen Temperaturen ausgesetzt ist, verliert bald seine Elasticität, wird hart und brüchig, weil es sich mit dem in den Poren enthaltenen Schwefel verbindet.

Läßt man den Aether und Schwefelkohlenstoff lange Zeit mit dem vulkanisirten Kautschuk in Berührung, so werden dadurch 4 bis 5 Proc. unveränderter Kautschuk aufgelöst — ein Beweis, daß die Schwefelung nicht ganz gleichmäßig bis in die Mitte der Masse stattfindet. Durch wiederholtes Verdampfen und Wiederaufnehmen in Aether, der den freien Schwefel entfernt und in wasserfreiem Alkohol, der 1 bis 1,50 Proc. Fett entzieht, kann man dieses Kautschuk wieder gewinnen.

Nach der Vulkanisation besteht das Kautschuk nach Payen aus zwei mit verschiedener Cohäsion und Löslichkeit begabten Theilen, von denen der eine, der weiche und weniger lichte durch ein Gemisch von 10 Th. Schwefelkohlenstoff und 1 Th. wasserfreiem Alkohol ausgezogen werden kann. Das Gewicht desselben betrug 25 Proc., das des unlöslichen zähen Theiles 65 Proc. und außerdem waren in dem vulkanisirten Kautschuk noch 10 Proc. überschüssiger Schwefel enthalten.

Payen hat gewöhnliches, vulkanisirtes und entschwefeltes Kautschuk unter gleichen Umständen 2 Monate lang in Wasser getaucht; das erstere absorbirte 0,26, das zweite 0,042 und das dritte 0,064 Wasser. Ballons von 1 Linie Dicke, mit Wasser gefüllt und einem Druck unterworfen, der ihren Durchmesser verdoppelte, verloren durch beständiges Verdunsten in 24 Stunden für den Quadratmeter: gewöhnliches Kautschuk 23 Grm. und vulkanisirtes 4 Grm. Aehnliche mit Luft gefüllte Ballons verloren unter dem gleichen Druck in 8 Tagen nichts Bemerkliches.

Neben England hat die Verarbeitung des Kautschuks in Nordamerika eine große Ausdehnung erreicht. Hier schreibt sich ein gewisser Goodyear die Entdeckung des vulkanisirten Kautschuks zu, die er sich hat patentiren lassen. Seit 1848 hat sich die Einfuhr des Kautschuks, das meistens aus Para in Brasilien kommt, verdreifacht und den Gesammtwerth aller in den Vereinigten Staaten verfertigten India-Rubber-Waaren schätzt man jährlich auf 10 Millionen Dollars. Die meisten Fabriken dieser Art findet man in den Staaten Newyork, Newjersey, Massachusetts, Rhode-Island und Connecticut, die vielen Tausenden von Menschen Beschäftigung gewähren. Einer der wichtigsten Artikel, die aus Kautschuk gefertigt werden, sind die Eisenbahnkarrenfedern, worauf der New-England-Car-Spring-Company ein Monopol ertheilt ist. Hierzu werden jährlich allein 400,000 Pfd. rohes Material verbraucht. In einigen andern Artikeln ist der Consum gleichfalls ungeheuer. So werden z. B. jährlich an 4 Mill. Paar Schuhe aus Kautschuk angefertigt, von denen die Hayward-Company allein täglich 3000 fabricirt. Daß der Stoff zu Landkarten, Globen ꝛc. verbraucht wird, ist bekannt und man spricht schon ernstlich davon die Banknoten daraus anstatt aus Papier zu machen; ja man träumt sogar schon von Segeln aus India-Rubber, die den Seemann über das Meer führen werden. Ein wichtiger Zweig ist noch die Anfertigung der Spielsachen und soll die Erzeugung derselben im Lande bereits nachtheilig auf die Einfuhr der bekannten Nürnberger Fabrikate zurückgewirkt haben. W. B.

Kegel, berganlaufender, s. Ebene, schiefe.

Kegelspiegel heißen diejenigen Spiegel, deren spiegelnde Fläche der Mantel (krumme Seitenfläche) eines Kegels ist. Da ein solcher Spiegel in der Linie von der Spitze nach der Basis wie ein ebener, in jeder anderen Richtung wie ein convexer Spiegel wirkt, und diese convexen Spiegel von der Basis nach der Spitze zu einen immer kleineren Radius erhalten; so wird das Bild, welches in ihm von einem vor demselben befindlichen Gegenstande erscheint, immer ein verzerrtes sein. Man wird daher nur dann ein richtig geordnetes Bild im Kegelspiegel sehen, wenn eine vor demselben befindliche Zeichnung eine nach gewissen Regeln verzerrt gezeichnete ist. Des Kegelspiegels bedient man sich daher zu Anamorphosen (s. d. Art.) eben so wie des Cylinderspiegels (s. d. Art.).

Gewöhnlich benutzt man zu den Anamorphosen für Kegelspiegel nur den geraden spitzen Kegel, in welchem Falle das Zerrbild auf einer mit der Kegelbasis zusammenfallenden Ebene liegt, und der Ort für das Auge in der verlängerten Kegelaxe sich befindet. Allgemein gefaßt würde die Aufgabe die sein: in einer außerhalb des Kegels liegenden beliebigen Fläche eine Zeichnung so zu entwerfen, daß ein über der Basis des Kegels befindliches Auge in dem Kegel den Gegenstand, welchen das Zerrbild darstellen soll, in richtigen, natürlichen Verhältnissen erkenne.

Mit der Einschränkung, daß sich das Auge auf der verlängerten Axe eines geraden oder schiefen Kegels befinde, und die Zeichnung auf der inneren Fläche eines Cylinders, dessen Axe mit der des Kegels zusammenfällt, und der selbst die Basis des Kegels zur Grundfläche hat, also durch die Peripherie geht, oder — wo es möglich ist — auf einer mit der Basis des Kegels zusammenfallenden Ebene liege, habe ich die Aufgabe behandelt *) und nachgewiesen, daß es nur für spitze Kegel ein Zerrbild in der Basisebene giebt, daß bei rechtwinkeligen Kegeln ein Zerrbild in der Ebene der Kegelbasis unendlich groß werden müßte, daß für stumpfwinkelige Kegel zur Erzeugung eines gehörig geordneten Spiegelbildes ein Theil des Zerrbildes oberhalb der Ebene der Kegelbasis liegen muß.

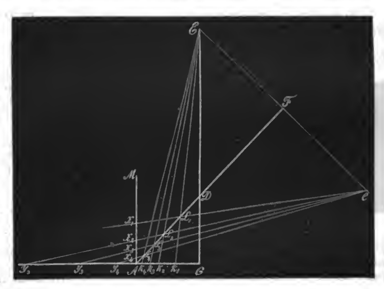
Außerdem ergiebt sich, daß für die Punkte in der Peripherie der Kegelbasis die entsprechenden Stellen des Zerrbildes wieder in der Peripherie liegen, daß für die dem Mittelpunkte entsprechenden Stellen der Ort des Auges auf der Axe gleichgültig ist. Bei spitzen Kegeln mit einem Zerrbilde in der Ebene der Basis liegen die entsprechenden Stellen im Zerrbilde um so weiter von der Peripherie des Kegels auf der Basisebene entfernt, je näher die Punkte des Bildes dem Mittelpunkte der Basis liegen. Sollen bei spitzen Kegeln die dem Mittelpunkte und eben so die den in gleichen Entfernungen von diesem liegenden Punkten entsprechenden Stellen des Zerrbildes auf Kreisen liegen, welche mit der Peripherie der Basis concentrisch sind, so muß der Kegel ein gerader sein.

Soll das Zerrbild auf der Innenfläche eines — wie oben bezeichneten — Cylinders liegen, wie es bei rechtwinkeligen und stumpfwinkeligen Kegeln am einfachsten sich ausführen läßt, so ergiebt sich, daß die entsprechenden Stellen im Zerrbilde um so höher auf dem Cylinder sich befinden, je näher die Punkte des

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 99.

Bildes dem Mittelpunkte der Basis liegen; daß bei rechtwinkeligen Kegeln — gleichgültig, ob dieselben gerade oder schiefe sind — es für alle dem Mittelpunkte des Bildes entsprechenden Stellen des Zerrbildes einen mit der Basis parallelen Kreis giebt, der auf der Cylinderfläche von der Basis (in der Richtung der Axe) um die Länge der Axe entfernt ist, dessen Mittelpunkt also in der Spitze des Kegels liegt; daß bei stumpfwinkeligen Kegeln der Cylinder um so länger sein muß, je stumpfer dieselben sind; daß bei spitzen Kegeln, wenn man für diese Cylinderbilder construiren will, der Cylinder um so kürzer sein kann, je spitzer die Kegel sind.

Um von der Construction der Zerrbilder für Kegelspiegel eine Idee zu geben, legen wir einen geraden Kegel zu Grunde, dessen durch die Spitze gehender halber Durchschnitt durch ACD dargestellt werde, so daß CD die Axe vorstellt.



Auf der verlängerten Axe in E sei der Ort des Auges; von diesem fälle man auf die Kegelseite AD ein Perpendikel EF, verlängere dies um sich selbst, mache also eF = EF; ziehe nach beliebigen Punkten k_1, k_2, k_3 .... auf dem Radius AC von E aus die Strecken Ek_1, Ek_2, Ek_3 ...., welche AD in L_1, L_2, L_3 ... schneiden; diese Punkte verbinde man mit e und verlängere diese Strecken, bis sie AM, welches durch A parallel mit der Axe CD geht, treffen, oder die verlängerte Basis AC. Die Entfernungen Ax_1, Ax_2, Ax_3 ... geben die entsprechenden Stellen für das Zerrbild auf einem Cylinder, die Entfernungen Ay_2, Ay_3 ... dieselben für das Zerrbild auf der Basisebene. — Es ist diese Construction jedenfalls bequemer auszuführen, als wenn man nach dem katoptrischen Grundgesetze $\angle$ ALX = ELF mit dem Transporteure macht.

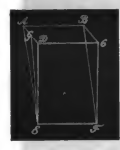
Die Punkte k_1, k_2, k_3 ... wählt man am bequemsten in gleichen Abständen; beschreibt man nun mit den Halbmessern Ck_1, Ck_2 ... CA concentrische Kreise und

aus demselben Centrum eben so mit Cy_1, Cy_2 ..., bringt die Zeichnung, für welche ein Zerrbild entworfen werden soll, in der Fläche an, welche von dem mit AC beschriebenen Kreise eingeschlossen ist, und zieht durch die hervorstechenden Punkte der Zeichnung von dem Mittelpunkte aus Linien, so geben die auf den entsprechenden Kreisen y_1, y_2 ... die Stellen des Zerrbildes. Je mehr solcher Punkte man bestimmt, desto leichter ist es alsdann die zwischenliegenden Stellen auszufüllen.

Für ein Cylinderbild trägt man auf einem rechteckigen Papierstreifen, welcher dem Cylindermantel entspricht, die Entfernungen AX auf der Höhe ab und zieht in diesen parallele Linien mit der Grundseite, auf denen sich dann leicht die entsprechenden Punkte des Zerrbildes ermitteln lassen. Für cylindrische Kegelzerrbilder ist am bequemsten eine cylindrische Büchse, in welche der Kegel mit seiner Basis eben einpaßt, indem man dann nur die Bilder auf der Innenseite der Büchse aufzustellen nöthig hat.

In Betreff des Geschichtlichen der Anamorphosen ist nachzusehen: Wilde, Geschichte der Optik, Berlin 1838. Bd. I. S. 296 — 304. H. E.

Keil heißt ein einfaches mechanisches Instrument, welches aus einem dreiseitigen Prisma besteht, wie solches nebenstehende Figur ABCDEF vorstellt. Man nennt ABCD den Rücken, die gegenüberliegende Kante EF die Schneide, die den Winkel an der Schneide halbirende, bis zu dem Rücken gehende Linie, also EG, die Länge, die den Rücken und die Schneide verbindenden Kanten, z. B. DE, die Seitenlängen, während die den Rücken und die Schneide verbindenden Rechtecke selbst, z. B. CDEF, Seiten genannt werden. Man unterscheidet den einfachen und den doppelten Keil. Bei jenem ist der von der Schneide zum Rücken gehende Schnitt, durch welchen der Schneidenwinkel bestimmt wird, ein rechtwinkeliges, bei diesem ein gleichschenkeliges Dreieck.



Des einfachen Keiles bedient man sich, um Lasten von einer unbeweglichen Fläche auf eine geringe Höhe zu heben, z. B. beim Feststellen von Möbeln, indem man einen Keil unter einen Fuß treibt; eben so ist die Treiblade der Zimmerleute, mit der sie ausgewichene Wände wieder gerade treiben, oder Balken ein wenig in die Höhe heben, nichts Anderes als ein einfacher Keil; auch zur Arretirung der Magnetnadeln wendet man häufig einen einfachen Keil an; zum Lostrennen kleinerer Holzstücke von größeren Klötzen; zum Aneinandertreiben der zu legenden Dielen bei Fußböden und dergleichen mehr.

Der einfache Keil wirkt ganz wie eine schiefe Ebene, indem eine Last auf der Länge derselben, der in der Hypotenuse des rechtwinkeligen Dreiecks liegenden Seite, aufwärts bewegt werden soll, während die Kraft parallel der Basis der Ebene, der anderen Keilseite, wirksam ist. Es verhält sich also *) die Kraft zur Last, wie die Höhe des Keils zur Länge, oder die Kraft ist gleich dem Producte aus der Last und der Tangente des Schneidewinkels. Wohl zu beachten ist indessen, daß beim Keile die Kraft in der Regel stoßend wirkt, was bei anderen Maschinen nicht der Fall ist.

*) Vergl. Art. Ebene. Bd. II. S. 396.

Der doppelte Keil wird gewöhnlich zur Trennung zweier Flächen angewendet, welche auf die Seiten desselben einen Druck ausüben, während die Kraft senkrecht auf den Rücken wirkt, z. B. zum Spalten des Holzes.

Ueber das Verhältniß der Kraft zur Last, durch welches das Gleichgewicht an dem doppelten Keile bedingt wird, sind von verschiedenen Physikern sehr abweichende Angaben gemacht worden *). Ist ABC (Fig. I.) der Durchschnitt eines Keiles, BD die Länge desselben, so ist dies Verhältniß nach Mersenne AD : BD, nach Descartes und Anderen AC : BD, nach Borelli AD : AB, nach Bruchausen AC : 2 BD, nach Brandes AC : AB, nach Muncke 2 tgs $1/2$ B : BD. Diese Verschiedenheit rührt größtentheils her von den verschiedenen Ansichten über die Richtung des Druckes, welcher auf die Seiten ausgeübt wird, und daß ein jedes Verhältniß als das richtige geltend zu machen gesucht worden ist, läßt sich wohl nur daraus erklären, daß es nicht möglich ist wegen der Reibung und anderer Hindernisse auf experimentellem Wege die aufgestellten Verhältnisse zu prüfen.

I.



Nehmen wir an, daß die auf die Seiten wirkende Last senkrecht zu der Länge gerichtet ist, so ergiebt sich, indem der doppelte Keil sich als eine Verbindung zweier einfacher ansehen läßt, wie Mersenne angiebt:

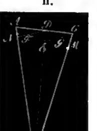
$$K : L = AD : BD,$$

indem die halbe Kraft der auf die eine Seite wirkenden Last, welche der auf die andere Seite wirkenden gleich, also selbst die halbe Last ist, das Gleichgewicht hält, wenn AD : BD ist; ist aber $1/2$ K : $1/2$ L = AD : BD, so ist auch

$$K : L = AD : BD.$$

d. h. die Kraft verhält sich zur Last, wie der halbe Rücken zur Länge.

II.



Nehmen wir an, daß die Last senkrecht zur Seite wirkt, so erhalten wir wie Borelli:

$$K : L = AD : AB$$

d. h. die Kraft verhält sich zur Last, wie der halbe Rücken zur Seitenlänge.

Ist nämlich DE (Fig. II.) die auf den Rücken wirkende Kraft, so daß DE die Richtung und Stärke derselben angiebt; so zerlege man dieselbe nach dem Parallelogramme der Kräfte in die auf den Seiten senkrecht stehenden DG und DF, indem DM und DN respective auf BC und AB senkrecht stehen und DGEF ein Parallelogramm bildet. Dann stellt DG die auf BC und DF die auf AB wirkende Last vor. Diese beiden Lasten sind gleich, wie sich von selbst versteht und wie auch daraus folgt, daß

*) Ueber die frühesten Bestimmungen: G. F. Bärmann's Dissertat. de Cuneo. Viteb. 1751; vergl. Anfangsgründe der Mechanik von A. G. Kästner. Götting 1780 Anm. § 105. S. 63.

DGEF ein Rhombus ist, da < NDM durch BD halbirt wird; also ist DG = DF = $\frac{1}{2}$ L. Da nun < FDE = < DEF = < BAC ist, so muß △ DEF ähnlich △ ABC sein, und mithin erhalten wir:

$$DE : DF = AC : AB, \text{ d. h.}$$
$$K : \tfrac{1}{2} L = AC : AB, \text{ folglich ist auch:}$$
$$\tfrac{1}{2} K : \tfrac{1}{2} L = \tfrac{1}{2} AC : AB, \text{ oder}$$
$$K : L = \tfrac{1}{2} AC : AB$$
$$= AD : AB.$$

Machen wir endlich die Annahme, daß der Keil in einen zu spaltenden Körper eingetrieben wird, so daß dadurch ein Spalt von einem Winkel = 2β entsteht, und die Last in der Richtung der Tangente eines Kreises auf die Seiten wirkt, dessen Mittelpunkt die Spitze des Spaltes ist, so erhalten wir, falls der Winkel an der Schneide des Keils 2α beträgt:

$$K : L = \sin(\alpha - \beta) : \cos \alpha$$

oder die Kraft verhält sich zur Last wie das Product aus dem halben Rücken und der Entfernung der Schneide des Keiles von dem Mittelpunkte des Spaltes zu dem Producte aus der Länge des Keiles und der Seitenlänge des Spaltes.

Es sei in beistehender Figur der Keil ABC in ein Holz eingetrieben, dessen eine Hälfte ONP vorstellt, der Spalt erstrecke sich bis E und < NEM sei = 2β, also < DEM = β. Die Kräfte (Lasten), mit welchen die beiden Spaltseiten ME und NE sich zu vereinigen suchen, also auf M und N drücken, sind einander gleich, so daß wir unsere Betrachtung nur an die eine, z. B. bei M anknüpfen können. Nun wirkt offenbar die Last bei M in der Richtung der Tangente des Kreises, dessen Mittelpunkt in E liegt und dessen Halbmesser EM ist. Wenn also < FME = 90° ist, so kann FM die Stärke und Richtung dieser Last vorstellen. Da nun dieser Last durch eine Kraft das Gleichgewicht gehalten werden soll, welche senkrecht auf den Rücken, also in der Richtung DB wirkt, so zerlegen wir MF in zwei Kräfte, von denen die eine HM parallel DB läuft, die andere MG auf der Seite CB senkrecht steht. Die in der Richtung HM wirkende Kraft muß mithin, wenn sie MF das Gleichgewicht halten soll, der Seitenkraft MH gleich sein. Der Winkel FMG oder MFH ist nun = $\alpha - \beta$ und der Winkel MHF = 90° − α, also erhalten wir HM : MF = sin MFH : sin MHF d. h. . $\frac{1}{2}$ K : $\frac{1}{2}$ L = sin $(\alpha - \beta)$: cos α, mithin auch: K : L = sin $(\alpha - \beta)$: cos α.



Daß dies so eben entwickelte Verhältniß, bei welchem allerdings von aller Reibung abgesehen werden mußte, wohl das wahre sein wird, dafür sprechen die Resultate, welche in einigen speciellen Fällen sich ergeben. Nehmen wir an, daß ein Keil in ver-

faultes Holz getrieben werde, so zeigt die Erfahrung, daß gar keine Spalte über die Schneide hinaus entsteht. d. h. α wird $= \beta$, mithin $\sin(\alpha - \beta) = 0$, und also auch $K = 0$. Hiermit stimmt überein, daß man den Keil so leicht in solches Holz eintreiben kann. — Machen wir anderenfalls die Annahme, daß $\beta = 0$ wird, d. h. daß ME und DE parallel laufen, also die beiden Theile NE und ME, welche aus einander getrieben werden sollen, gar nicht zusammenhalten, wie bei dem Gebrauche des einfachen Keiles, so erhalten wir:

$$K : L = \sin\alpha : \cos\alpha, \text{ d. h.}$$
$$K : L = CD : BD = AD : BD,$$

ein Verhältniß, welches wir oben ebenfalls erhalten haben unter der Annahme, daß die Last senkrecht zur Länge gerichtet ist. Nur in diesem Falle stimmt der Keil in seiner Wirkungsweise mit der schiefen Ebene überein.

Da, wegen $CD : BD = \sin\alpha : \cos\alpha$, $\cos\alpha = \frac{BD \,.\, \sin\alpha}{CD}$ ist, und $\sin(\alpha - \beta) = \frac{BE \,.\, \sin\alpha}{ME}$, weil $BE : ME = \sin(\alpha - \beta) : \sin\alpha$ ist, so erhalten wir auch:

$$K : L = \frac{BE}{ME} : \frac{BD}{CD} = BE \,.\, CD : BD \,.\, ME,$$

ein Verhältniß, welches in Worten den oben gegebenen Ausdruck erhält.

Es ergiebt sich aus den verschiedenen gefundenen Verhältnissen, daß die zum Eintreiben des Keiles erforderliche Kraft um so geringer ist, je schmäler der Rücken und je größer die Länge desselben ist; aber, wie überhaupt in der Mechanik, der mechanische Vortheil ist auch hier gleich dem mechanischen Nachtheile, nämlich je mehr der Keil die eben aufgestellten Bedingungen erfüllt, auf desto kleinere Entfernung werden auch die auseinander zu treibenden Theile aus einander getrieben *).

Bei der gewöhnlichen Anwendung des Keiles wird derselbe selten Gegenstand der Berechnung. Er wird beim Eintreiben durch die Reibung an seinen Seiten festgehalten und zwar mit bedeutender Stärke, wie man aus dem Umstande sieht, daß er — seine Seiten müßten denn sehr glatt sein — nicht zurückgeht, auch wenn die Kraft auf ihn zu wirken aufgehört hat, und daß sogar eine bedeutende Kraft erforderlich ist, ihn zurückzuziehen. Die Reibung läßt sich nur unvollkommen in Rechnung bringen. Am Einfachsten ist es, die Größe der Reibung dem auf die Seitenflächen ausgeübten Drucke gleich zu setzen, wiewohl auch dies in den meisten Fällen zu gering sein möchte. Hierzu kommt oft noch ein anderes Hinderniß, nämlich der Widerstand, welchen der zu durchdringende Gegenstand der Schneide entgegensetzt. Ohne Reibung würde der Keil in den meisten Fällen seine ganze Brauchbarkeit verlieren, weil er zurückspringen würde. Der einzige Fall, in welchem die Theorie des Keiles zur Anwendung kommt, möchte wohl die Construction gewölbter Bogen sein; denn bei der Keilpresse, wo man allerdings auch die Verhältnisse aus der Theorie abzuleiten versuchen kann und auch

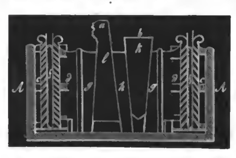
*) Vergl. Emsmann, Physikalische Aufgaben. Leipzig 1852. S. 27.

versucht hat, hält man sich doch mehr an die praktischen, als theoretischen Ergebnisse.

Es bedarf wohl kaum der Bemerkung, daß alle scharfen und spitzen Schneide- und Stechinstrumente als Keile wirken; es sei nur erinnert an die Messer, Beile, Aerte, Meisel, Spaten, Nägel, Nadeln ꝛc. H. E.

Keilpresse ist eine Presse, bei welcher der Keil als der wesentlichste Bestandtheil auftritt. Sie ist sehr wirksam, weil die Kraft bei derselben nicht, wie sonst der Fall ist, durch Druck, sondern durch Stoß ihre Wirkung ausübt. Es giebt verschiedene Arten der Keilpressen; wir finden z. B. eine solche im Gebrauche bei den Kammmachern zum Formen und Biegen des Hornes und Schildpattes. Das Princip, nach welchem dergleichen Pressen construirt werden, anschaulich zu machen, wählen wir die Oelpresse, wie sie in den gewöhnlichen Oelmühlen zur Anwendung kommt.

In einen oben offenen gußeisernen, parallelepipedischen Kasten A, A in beistehender Figur werden gegen die schmalen Wände hin zwischen durchlöcherte gußeiserne Platten c und d (Preßplatten) die mit erwärmtem Oelsamenmehl gefüllten, gewöhnlich aus Roßhaaren gefertigten Säcke oder Haartücher f, f gebracht. Die Platten c, c stemmen sich mit 3 angegossenen Querrippen gegen die Wände des Kastens so, daß zwischen ihnen und den Wänden das ausgepreßte Oel noch herablaufen kann; eben so gestatten die Preßplatten d d (Jager) das



Herablaufen des Oeles, welches dann durch eine durchlöcherte gußeiserne Bodenplatte und ein in dem darunter befindlichen Raume angebrachtes Abflußrohr ausfließt. Neben jeder der beweglichen Preßplatten d, d befindet sich ein Zwischenfutter g, g und zwischen den beiden Keilen k und l noch ein drittes h. Der mit seinem Rücken abwärts gerichtete Keil l heißt Lösekeil, der andere mit dem Rücken aufwärts gerichtete k Preßkeil. Während nun der Lösekeil an seinem Kopfe a in der durch die Zeichnung angegebenen Stellung gehalten wird, schlägt ein Stampfer auf den Rücken b des Preßkeiles, treibt ihn ein und drängt so die Oelsäcke f, f zusammen. Dies Stampfen geschieht gewöhnlich in zwei Absätzen und besteht aus dem Vorschlagen mit 12 bis 18 Schlägen und dem Nachschlagen mit 30 bis 40 Schlägen. Ist der Preßkeil weit genug eingeschlagen, so wird der Stampfer festgestellt, der Kopf a des Lösekeils gelöst und nun dieser durch einen zweiten Stampfer herabgeschlagen. Hierdurch löset sich der Zusammenhalt der einzelnen Theile, die Zwischenfutter und Oelsäcke werden herausgenommen, und es beginnt hierauf dieselbe Operation mit einem neuen Satze.

Wegen der Wirkung des Keiles verweisen wir auf den Art. Keil. H. E.

Kernschatten, s. Schatten.

Kessel-Explosion. — Trotz allen Sicherheitsvorrichtungen, die an den Dampfkesseln angebracht sind, hört man leider nur zu häufig von furchtbaren

Explosionen, und doch hat man sich dadurch nicht von dem Gebrauch der Dampfmaschinen abschrecken lassen, da man erkannt hat, daß die häufigen Unglücksfälle nicht der Maschine, sondern der Unkenntniß, Fahrlässigkeit und Tollkühnheit derer zugeschrieben werden müssen, denen man die Wartung der Maschine anvertraut hat. Deshalb bewundern wir nach wie vor die Dampfmaschine als ein Meisterstück des menschlichen Scharfsinnes und lange Zeit noch wird sie der mächtigste Helfer in der Industrie bleiben.

So viele Untersuchungen auch in Folge der zahlreichen Unglücksfälle stattgefunden haben, ganz im Klaren über alle Thatsachen der einzelnen Explosionen ist man doch nicht. Die Nachforschungen treten ja immer erst ein, nachdem das Unglück bereits geschehen, und oft sind ja die, welche allein über die näheren Umstände Auskunft geben können, bei der Explosion umgekommen. So umfangreich auch die Literatur über die Explosionen bei Dampfmaschinen ist, sie läßt nicht allein manche Thatsache unerklärt, sondern ist selbst nicht einmal frei von Widersprüchen.

Darüber jedoch ist man einig, daß als die Hauptursache der häufig wiederkehrenden Unglücksfälle der Mangel einer hinreichenden Menge Wasser in dem Kessel anzusehen ist und hiervon trägt wiederum in den meisten Fällen die Nachlässigkeit des Maschinisten die Schuld. Ist der Wasserstand in dem Kessel ein sehr niedriger, so wird dadurch ein Theil der Kesselwände unterhalb der Feuerzüge bloßgelegt und zum Rothglühen erhitzt. Wird nun in der Folge dieser überhitzte Theil des Kessels wieder mit Wasser bedeckt, so entwickelt sich plötzlich eine so große Menge Wasserdampf, daß der Kessel zerspringt. Mag auch das Sicherheitsventil noch so vortrefflich eingerichtet und noch so gut im Stande sein, es reicht nicht aus die Gefahr abzuwenden, weil sich ungleich mehr Dampf bildet, als aus der Oeffnung entweichen kann. Deshalb vergleicht Arago die Ventilöffnung mit dem Bette eines Gießbaches, welches zwar in gewöhnlichen Zeiten das Wasser faßt, nach einem Platzregen aber zu eng für dasselbe wird, so daß es sich verheerend über die Ufer desselben stürzt.

Bei Hochdruckmaschinen tritt dieser Umstand oft ein, wenn das Spiel der Speisungspumpen durch irgend eine Ursache eine Zeitlang gehemmt worden ist und dann plötzlich wieder eintritt. Bei Dampfschiffen reicht ein starkes Schaukeln des Fahrzeuges hin, um das Wasser auf die überhitzte Wand zu schleudern und dadurch die Katastrophe herbeizuführen. Oft treten die Explosionen ein, wenn die Maschine nach einem Stillstande wieder in Gang gesetzt wird. Versperrt man den Ausgang des Dampfes plötzlich, so sinkt der Wasserstand beträchtlich und dadurch wird ein Ueberhitzen der Kesselwände möglich. In dem Augenblick aber, wo dem Dampfe neuerdings der Austritt wieder gestattet wird, wallt das Wasser in Folge des verminderten Druckes heftig auf, so daß augenblicklich eine sehr tumultuarische Dampfentwickelung eintritt. Oft führt sogar der Heizer das Unglück muthwillig herbei. So erzählt z. B. Armstrong in einem Werke über die Dampfkessel, daß zu Manchester in jeder Woche wenigstens 2 bis 3 Explosionen in den Fabriken vorkommen und zwar am Montage viel häufiger als an den anderen Tagen der Woche. Der Grund dieser Unglücksfälle ist ein sehr einfacher. Das Schwärmen am Sonntage verhindert den Heizer am Montage zu gehöriger Zeit in der Fabrik zu erscheinen. Um seine Nachlässigkeit zu verbergen, bringt er nur wenig Wasser in den Kessel und setzt ein heftiges Feuer in Gang, um hinreichend

Dampf zu erzeugen, so daß er die Maschine in Thätigkeit setzen kann, sobald die Glocke das Zeichen für den Anfang der Arbeit giebt. Dann erst schafft er die ganze für die Speisung erforderliche Wassermenge in den Kessel, wobei dann oft aus dem angegebenen Grunde eine so große Menge Dampf entwickelt wird, daß die Kesselwände dem dadurch auf sie ausgeübten Drucke nicht zu widerstehen vermögen. Zum Glück sind diese Explosionen nur selten von ernsten Unglücksfällen begleitet, weil die Nachwehen des Sonntags sich bei allen Arbeitern geltend machen und diese so spät erscheinen, als es die Fabrikordnung nur erlaubt. Daher verlautet darüber nach außen hin auch nur wenig; es liegt in dem Interesse der Fabrikbesitzer die Explosionen zu verheimlichen. Man spricht nur dann davon, wenn der Leichtsinn Menschenopfer gefordert oder die Nachbarschaft Schaden erlitten hat.

Namentlich bei den Locomotiven ist eine große Wachsamkeit des Heizers erforderlich. Der beschränkte Raum, der hier dem Dampfkessel gegeben werden kann, beengt nothwendig auch den Wasser- und Dampfraum und der erforderliche Kraftaufwand macht die Dampfentwickelung stürmischer als bei den größeren Kesseln der stehenden Maschinen. Liegen hier auch die Möglichkeiten einer Explosion viel näher, so gehören letztere dennoch zu den seltneren Ereignissen und die vorgekommenen haben mit wenigen Ausnahmen nur geringen Schaden angerichtet, so daß das Vertrauen des Publikums zu dieser Art der Beförderung nicht erschüttert worden ist.

Welche Kraft der plötzlich entwickelte Dampf ausübt, sobald Wasser mit einer glühenden Fläche in Berührung kommt, lehren directe Versuche, die in Amerika angestellt worden sind. Man trieb hier absichtlich in einen Kessel, dessen Boden rothglühend gemacht worden war, Wasser ein; der Dampf wurde dadurch innerhalb einer Minute von einer auf 12 Atmosphären, also auf einen Druck von 180 Pfund auf den Quadratzoll gesteigert, und augenblicklich trat eine heftige Explosion ein. Man hatte nicht so viel Wasser in den Kessel eingetrieben, als nöthig gewesen wäre, um das Metall bis auf den Punkt, auf welchem die Verdampfung am stärksten ist, abzukühlen, sonst würde, meint man, der Druck gegen 40 Atmosphären erreicht haben.

Die Kessel der Dampfmaschinen werden zwar, bevor sie in den Gebrauch kommen, einer Prüfung unterworfen, bei der sie einen weit größeren Druck aushalten müssen als die gewöhnliche Belastung des Ventiles beträgt, aber diese Prüfung gewährt durchaus keine Sicherheit gegen das Vorkommen von Explosionen. Sehen wir ganz davon ab, daß der Kessel durch viele Umstände bei dem Gebrauch abgenutzt und dadurch seine Festigkeit vermindert wird, so sind die Verhältnisse, die in der Praxis eintreten, doch ganz andere als die, unter denen die Prüfung vorgenommen wird. Sie findet statt bei gewöhnlicher Temperatur und der Druck, den die Wände des Kessels hierbei zu erleiden haben, wird nur allmälig gesteigert. Wendet man in der Praxis dem Kessel alle Sorgfalt zu, so daß die ganze metallische Heizfläche stets mit Wasser bedeckt ist und dadurch verhindert wird, eine höhere Temperatur anzunehmen als die des Wassers selbst, so erleidet der Kessel dadurch in seiner Festigkeit keinen Abbruch; sie kann auch jetzt noch der Festigkeit bei gewöhnlicher Temperatur gleich gesetzt werden. Diese Gleichheit in der Temperatur der Kesselwände und des von ihnen eingeschlossenen Wassers findet aber in der Praxis sehr selten statt. Die in dem Wasser aufgelösten festen Bestandtheile, so wie die darin sonst noch enthaltenen organischen Substanzen bleiben bei der Ver-

dampfung zurück; sie setzen sich an und erschweren als schlechte Leiter den Durchgang der Wärme. Noch größer wird die Temperaturdifferenz, wenn gar ein Theil der Heizfläche ganz vom Wasser entblößt ist. Die Temperaturerhöhung einzelner Theile des Kessels ist dann oft eine sehr bedeutende. Sogar nicht direct erhitzte Theile, wie z. B. der Deckel, gerathen mitunter in Rothgluth, so daß Gegenstände von Holz, die zufällig damit in Berührung kommen, in Brand gerathen.

Unter diesen Umständen ist die Festigkeit des Kessels eine ganz andere. Nach den Versuchen von Tremery nimmt zwar die Festigkeit des Schmiedeeisens bei einer Erwärmung bis zu 160° C. etwas zu, bei weiterer Erhitzung aber in einem sehr raschen Verhältnisse ab, so daß sie bei dunkler Rothglühhitze nur noch $^1/_6$ der ursprünglichen Festigkeit beträgt. Man kommt also hierbei der Gränze dessen, was der Kessel auszuhalten vermag, sehr nahe, oft wird diese sogar überschritten und die Explosion tritt ein, obgleich der Druck ein so geringer war, daß dadurch nicht einmal das Ventil geöffnet wurde. Zudem ist die Wirkung einer bedeutenden und plötzlich eintretenden Druckänderung eine ganz andere, als die einer nur allmälig und in fast unmerklichen Graden sich steigernden. Was bei ersterer die Wände des Kessels auszuhalten im Stande sind, darüber belehrt uns die Prüfung auf die Festigkeit des Kessels nicht und deshalb gewährt sie auch kein sicheres Mittel gegen die Explosion, denn die Prüfung beweist nur, was der neue Kessel und noch dazu unter Umständen, die in der Praxis fast nie vorhanden sind, auszuhalten vermag, aber nicht, was er nach längerer Benutzung ertragen kann, wenn das Metall sich durch Temperaturungleichheiten nach allen Richtungen gezogen hat, durch Rosten &c. verändert worden ist.

Verhindert auch das Ventil selbst dann, wenn es sich in einem vortrefflichen Zustande befindet, nicht immer die Zertrümmerung des Kessels, so ist doch oft als Ursache derselben wiederum anzunehmen, daß das Sicherheitsventil sich in keinem guten Zustande befand. Es scheint zwar auf den ersten Blick, daß ein so einfacher Apparat nie in Unordnung gerathen könne, aber unbedeutende Umstände führen solches bei Unachtsamkeit nur zu leicht herbei. Die bewegliche Platte rostet sehr leicht und dann haftet sie fest an der Unterlage, der festen Metallwand. Ferner soll sie auch dadurch eingekittet werden, daß zwischen dem Ventil und seiner Unterlage sich eine Quantität der festen Substanzen, welche ursprünglich in Wasser aufgelöst waren, ablagert und eintrocknet. Ja selbst die Ruhe allein reicht hin, eine so feste Anhaftung der Platte zu bewirken, daß ein Druck, den der Erbauer ursprünglich als hinreichend zur Hebung des Ventiles gehalten hat, bei weitem nicht mehr dazu ausreicht. Deshalb sagt Handsley, dem eine große Erfahrung zu Gebote stand, daß ein Sicherheitsventil diesen Namen nicht mehr verdiene, wenn es nur eine einzige Woche lang ganz ungelüftet geblieben sei. Man sollte nicht glauben, daß dieser Umstand zu Explosionen Veranlassung geben könnte, denn um die Gefahr abzuwenden, reicht ja aus, sich oft davon zu überzeugen, daß das Ventil nicht auf der Unterlage festsitze. Aber ein Blick in die Werkstätten lehrt uns, wie schwer die Arbeiter sich dazu verstehen, diese geringfügige Operation regelmäßig anzustellen. Man glaubt hier allgemein, daß, weil die Dampfmaschinen gewöhnlich für sich selbst gehen, sie auch fast keiner Sorgfalt bedürfen.

Während man auf der einen Seite meint, daß viele Explosionen dadurch verursacht werden, daß der Kesselstein bei der stärkeren Ausdehnung des Metalles zerreiße und in größeren Stücken abspringe, wo dann das Wasser mit dem glühenden

Boden in Berührung komme, wird diese Thatsache auf der anderen Seite ernstlich bestritten. Die erstere Annahme ist auch durchaus nicht nöthig; denn die Hauptfläche kann bei einer großen Ansammlung des Kesselsteines ins Glühen gerathen und dadurch Explosionen herbeiführen, ohne daß ein Zerreißen stattgefunden hat. Es ist sogar wahrscheinlich, daß, wenn durch solche Risse das kältere Wasser zu dem rothglühenden Metalle gelangt, an diesen Stellen sogleich Berstungen erfolgen würden. Uebrigens tragen die Ablagerungen in den Kesseln viel dazu bei, daß das Metall sich oxydirt und dadurch schnell abgenutzt wird. So führt z. B. Arago an, daß ein Kessel, der zur Heizung der Pariser Börse diente, am Boden an der Stelle ein Loch bekam, wo die Arbeiter aus Versehen einen Lappen hatten liegen lassen. Hat der Dampfkessel auf diese Art auch nur einen einzigen Sprung oder selbst nur eine schwache Stelle erhalten, so ist er durchaus nicht mehr sicher. Es bedarf nur einer kleinen Oeffnung, damit der Riß sich in einem Augenblick über den ganzen Umfang des Dampfkessels verbreite.

Die gewaltigen Zerstörungen, die in wenig Augenblicken durch die Explosionen der Dampfkessel hervorgebracht werden, haben auf den Gedanken geführt, daß solche durch den Dampf allein nicht bewirkt werden können, sondern daß hierbei noch explodirende Gase thätig sein müssen. Freilich ist es nicht die Kraft des Dampfes allein, welche diese zerstörenden Wirkungen hervorbringt, sondern mehr die Plötzlichkeit, mit der sich die verheerende Gewalt geltend macht. Schafhäutl in München, dem das Institut der Civilingenieure in London für seine Abhandlung über die wahren Ursachen der Dampfkessel-Explosionen *) die große silberne Telford-Medaille zuerkannte, ist besonders der Ansicht, daß nicht das einfache Uebermaß des Dampfdrucks im Kessel allein nothwendigerweise eine Explosion veranlasse, sondern vielmehr verschiedene Arten vibrirender Bewegung, welche dem Dampfkessel plötzlich oder in Zwischenräumen mitgetheilt werden, eine Explosion zur Folge haben könnten und oft gehabt haben.

Zur Stütze seiner Ansicht führt er den hohen Druck an, welchen gläserne Gefäße auszuhalten im Stande sind, wenn der Druck allmälig gesteigert wird. Ein oder zwei Zoll lange Glasröhren, welche zum vierten Theil mit Wasser gefüllt, hermetisch verschlossen und in geschmolzenes Zink getaucht wurden, hielten den ungeheuern Druck von 400 Atmosphären aus, ohne zu zertrümmern. Sobald er aber das Ende einer Eisenstange leicht gegen das äußere Ende der Röhre drückend befestigte und die Stange durch Reiben longitudinal vibriren machte, so wurde die Röhre augenblicklich in viele Stücke zerschmettert, während sie doch bedeutende Stöße mit derselben Eisenstange sehr gut aushielt. Eben so gelang es ihm nur dann kleine gut gearbeitete Dampfkessel unter den gewöhnlichen Umständen zu zersprengen, wenn die Sicherheitsklappe zugeschraubt war und die Feuerstätte bis zum Dreifachen vergrößert wurde. Aehnliche Erfahrungen machte auch das Comité des Franklin-Instituts in Amerika, das sich vielfach mit Ergründung der Ursachen der Dampfkessel-Explosionen beschäftigt hat. Schafhäutl versichert sogar, daß der Schlag eines Hammers gegen die Wasserkammer des Kessels, ja selbst ein kleiner Stein, den ein Knabe gegen die Wand eines Hochdruck-Kessels schleuderte, Explosionen bewirkt haben sollen.

---

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXI. S. 351 und Bd. LXXXIII. S. 10.

Erhitzt man eine Eisenstange so lange, bis sie sich mit flüssiger Schlacke überzieht, legt dieselbe über ein auf einem Amboß befindliches Wasserkügelchen und schlägt mit einem Hammer darauf, so theilt die flüssige Schlacke ihre Wärme augenblicklich dem Wasser mit und dadurch wird dasselbe in demselben Moment mit einem lauten Knall in Dampf verwandelt. Daraus schließt Schafhäutl, daß, wenn einer gegebenen Wassermenge so viel Wärme, als zu ihrer Verdampfung nothwendig ist, in einem Augenblick mitgetheilt wird, z. B. wenn das Wasser mit einer rothglühenden Fläche in Berührung tritt, so muß sich in demselben Momente der Dampf explodirend entwickeln. Die hierbei aus der Compressibilität des Wassers und des Dampfes resultirende wellenförmige Bewegung pflanzt sich durch das Wasser gegen den Boden und die Wände des Kessels fort und durch den Dampf wird sie nach dem Sicherheitsventil hingeleitet. Die Geschwindigkeiten der Fortpflanzung der wellenförmigen Bewegung in beiden Medien sind aber ungleich; sie verhalten sich wie 4,5 : 1. Nach Laplace beträgt das Leitungsvermögen des Wassers 6036,88 Fuß und das des Dampfes bei 4 Atmosphären und 145°,6 C. 1041,345 Fuß in der Secunde. Ist man auch geneigt, die Zeitunterschiede beim Durchlaufen kurzer Wegstrecken innerhalb des Wassers und des Dampfes für verschwindend klein anzusehen und will man ihnen aus diesem Grunde keinen bemerkbaren Einfluß auf das Zerspringen des Kessels zugestehen, so muß man doch bedenken, daß sie im Vergleiche mit dem Momente der Explosion, der unendlich kleinen Zeit, in welcher die Explosion entsteht und sich vollendet — als unendlich groß zu betrachten sind. Denn da zu aller Mittheilung der Bewegung Zeit erfordert wird, die ganzen Kesselwände aber während der momentanen Entstehung der Explosion nicht Zeit genug haben, dem Stoße auszuweichen und vermöge ihrer eigenen Elasticität nachzugeben, — so muß der Zusammenhang der Platten da, wo sie der Stoß trifft, zerstört werden und der Kessel also springen. Eine ähnliche Erscheinung bemerkt man, wenn man z. B. kleine Quantitäten Knallpulver aus 3 Th. Salpeter, 2 Th. kohlensaurem Kali und 1 Th. Schwefel in einem erhitzten eisernen Löffel zur Explosion bringt. Hat man auf den Löffel ein Blech gelegt, so wird dieses nicht fortgeschleudert, wohl aber der Löffel durchlöchert und zwar gerade da, wo die Mischung lag; auch wenn die Masse gar keinen Widerstand nach oben zu überwinden hat.

Als das explodirende Gas, welches hauptsächlich neben dem Dampf die Explosionen der Dampfkessel bewirken soll, nennt man Knallgas. Es ist denkbar, daß sich der eine Bestandtheil desselben, das Wasserstoffgas bildet, wenn Wasser mit rothglühendem Eisen in Berührung kommt. Aber weder für sich, noch mit Dampf gemischt, kann es detoniren. Um daher die Gegenwart des anderen Bestandtheiles, des Sauerstoffs, wahrscheinlich zu machen, mußte man zu den seltsamsten Hypothesen seine Zuflucht nehmen; denn findet wirklich unter dem angegebenen Umstande eine Zersetzung des Wassers statt, so verbindet sich der Sauerstoff mit dem Metall. In dem Wasser des Kessels ist zwar atmosphärische Luft enthalten, aber doch nur in geringer Menge. Zudem wird sie bei der Erwärmung des Wassers ausgetrieben und in dem Maße, als sie entwickelt wird, führt sie der Dampf mit dem Wasserstoff selbst in den Pumpenstiefel mit fort. Da das Wasserstoffgas nicht condensirbar ist, so würde es von hier nur mittelst einer großen, die Wirkung der Maschine sehr schwächenden Kraft vertrieben werden können. Deshalb will man hierin die Ursache der Verlangsamung in dem Gange

der Maschine sehen, welche gewöhnlich dem Zerspringen der Dampfkessel vorausgeht, aber eine Erklärung der Explosion selbst wird dadurch nicht gegeben. Da das Wasserstoffgas mit dem Dampfe schnell fortgeführt wird, so kann sich selbst nicht einmal eine große Menge desselben in dem Kessel anhäufen. Ueberdies verbindet sich der Sauerstoff der Luft viel leichter mit den glühenden Metallwänden als der des zersetzten Wassers.

Weiter nimmt man an, daß atmosphärische Luft mit dem Wasser durch die Pumpen in den Kessel geführt wird oder gar, daß neben der Oxydation des Metalles bei der Zersetzung des Wassers auch eine Desoxydation eines Theiles der vorher oxydirten Metallfläche stattfindet. Beide Ansichten sind eben so schwer durchzuführen. Selbst dann, wenn man wirklich das gleichzeitige Vorhandensein von Wasserstoff und Sauerstoff in dem Kessel zugeben wollte, so würde das Gemenge gewiß durch den Wasserdampf so verdünnt werden, daß es die Fähigkeit zu explodiren verliert.

Ferner sollen auch nach Jobard *) die organischen Substanzen, die in dem Wasser enthalten sind, das gefährliche Knallgas liefern. Diese setzen sich an den Wänden an; tritt nun der Fall ein, daß die Speisungspumpe durch irgend einen Zufall unthätig wird, so sinkt natürlich der Wasserspiegel immer mehr und mehr und in dem Maße tritt durch Erhitzung der Wände eine trockne Destillation der organischen Massen ein, die das explodirende Gas liefern soll. Die Entzündung soll dadurch entstehen, daß die bei der Zersetzung der organischen Stoffe zurückbleibende Kohle ins Glühen gerathe. Man bezieht sich hier auch auf eine Angabe von Berzelius, daß eine Beimengung von Kohlenwasserstoffgas die zerstörende Kraft eines explodirenden Gemisches bedeutend erhöhe. Eben so führt man an, daß viele organische Substanzen, wie van Mons nachgewiesen hat, pyrophorisch werden, d. h. sich selbst entzünden können.

Die Entzündung eines explodirenden Gasgemisches kann allerdings durch hellglühendes Eisen erfolgen; aber sehr viele Dampfkessel sind gesprungen, ohne daß man ein Erglühen der Wände hätte annehmen dürfen. Deshalb hat man seine Zuflucht auch zu dem elektrischen Funken genommen, der durch die Reibung des Dampfes entstehen soll.

Die Schwierigkeit, die Gegenwart des zweiten Bestandtheils des explodirenden Gemisches, des Sauerstoffgases, in dem Kessel nachzuweisen, hat auf den Gedanken geführt, daß das Wasserstoffgas allein die Ursache der zerstörenden Explosion sei. Man nimmt ein vorhergegangenes Bersten des Kessels an, wodurch das Wasserstoffgas in den Ofen gelangt, sich hier mit Luft mischt, darauf detonirt und die Zerstörung bewirkt. Derartiges ist aber nicht bestimmt nachgewiesen. Nach Anderen wieder sollen sich die detonirenden Gase im Ofen selbst befinden. Die hierzu nöthigen Elemente liefern die Steinkohlen — Kohlenwasserstoffgas — und das aus dem Kessel heraussickernde Wasser, das durch die glühenden Kohlen zersetzt wird. Den Sauerstoff borgt man sich, wie Arago sagt, von der ziemlich großen Portion des Luftstroms, der unzersetzt emporsteigt. Die Entstehung explosiver Gemenge in den Feueranlagen ist möglich; aber doch nur in den seltensten Fällen ist hier die Ursache der Dampfkesselexplosionen zu suchen. So erzählt

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. XCIV. S. 344.

Gay-Lussac, daß in der Salpeterraffinerie, im Pariser Arsenal, auf diese Art ein Ofen gänzlich zerstört wurde, wobei aber der Kessel ganz unversehrt blieb.

Daß sich unter Umständen Wasserstoffgas durch Zersetzung des Wassers bilden kann, ist wahrscheinlich, aber nach dem Obigen nicht, daß dies die Ursache der meisten Explosionen sei, wie Jobard annimmt. So will Gurney gefunden haben, daß der Dampf, welcher einem rothglühenden Kessel entströmte, brannte wie Wasserstoffgas. Dasselbe berichtet auch Marsé; es bleibt jedoch zweifelhaft, ob das Gas von einer Zersetzung des Wassers oder der Fette, die man zur Verhütung des Kesselsteines anwendet, herrührte. Man führt zwar auch Explosionen an, die unfehlbar durch Wasserstoffgas herbeigeführt worden sind, aber die Umstände waren hier ganz anderer Art. Eine solche fand 1826 in Gent statt. Der Kessel wurde am Sonnabend geleert, um am folgenden Tage gereinigt zu werden. Das Wasser wurde jedoch nicht ganz und zwar vor dem Erlöschen des Feuers abgelassen. Einzelne Theile des Kessels mußten hierbei rothglühend werden und eine Zersetzung des Wassers zur Folge haben. Am nächsten Morgen hielt der Schürer nach Oeffnung des Mannslochs seine Lampe in den Kessel, wie dies gewöhnlich geschieht, wodurch das durch den Zutritt der atmosphärischen Luft detonirend gewordene Wasserstoffgas augenblicklich entzündet wurde und nicht allein den Kessel und die Werkstatt zerstörte, sondern auch den Arbeiter tödtete. Eine solche Explosion ist sehr einfach zu erklären; sie ist aber auch ganz von den gewöhnlichen Dampfkesselexplosionen verschieden. Uebrigens werden verschiedene Vorfälle dieser Art berichtet *).

Neben der plötzlichen Dampferzeugung ist es die allmälige Anhäufung des Dampfes, wodurch in der Regel wohl die Explosionen bedingt werden. Hier ist es besonders, wo dem Leichtsinne und der Unwissenheit ein weites Feld sich darbietet, entsetzliches Unheil anzurichten. Ich darf hier nur an die sprichwörtlich gewordenen Unglücksfälle auf den amerikanischen Dampfbooten erinnern. Im Mechanics Magazine (No. 776) vom Jahre 1838 heißt es in einem aus dem Athenäum entlehnten Artikel hierüber: „Die sich täglich häufende Zahl der Unglücksfälle, welche sich mit den Dampfschiffen in Amerika ereignen, hat ihren Grund unstreitig in einem tollen Ungestüm und in einer kindischen Eifersucht der Schiffsführer und Eigenthümer. Das Publikum sollte bedacht sein, diesem schändlichen Spiel mit dem Menschenleben ein Ende zu machen, anstatt diese unsinnigen Wettfahrten durch ruhmreiche Ankündigungen in öffentlichen Blättern zu ermuntern.“ Ja noch mehr: bei Gelegenheit eines solchen Wettstreites steht nicht allein zu beiden Ufern des Stromes das Volk in hellen Haufen und sucht auf allerlei Art, sowohl Männer als Frauen, die rasenden Spieler zu ereifern, sondern die Passagiere selbst sind eben so unsinnig. Und wenn auch die nordamerikanische Regierung schon vor langer Zeit durch ein Gesetz den Schiffsführer und Maschinisten, durch dessen Nachlässigkeit, Unachtsamkeit oder Mißverhalten Beschädigungen an Personen vorkommen, mit strengen Strafen, selbst mit dem Proceß wegen Todschlages bedroht, so ist dadurch dennoch bis jetzt wenig geändert. Wollte man alle Opfer, welche diesen unsinnigen Wetten oder der Eitelkeit der Schiffsführer, im Laufe der Zeit verfallen sind, zusammenstellen, so würde sich eine nicht unbedeutende

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXI. S. 270.

Zahl herausstellen. Ein trauriger Beleg für die Geschichte der Menschheit und für die der freien Staaten von Nordamerika ins Besondere.

Um die Leistungen der Maschine bei diesem frevelhaften Spiel zu erhöhen, belastet man das Sicherheitsventil übermäßig, so daß mit der Zeit der Dampf eine Spannkraft erlangt, welche die Festigkeit des Kessels bei weitem übersteigt. Eben so giebt dazu auch oft die Eitelkeit des Maschinisten oder der Arbeiter, die theils der Maschine eine erhöhte Thätigkeit geben, theils auch nur ihren Muth zeigen wollen, Veranlassung. Wie weit hier der Uebermuth mitunter getrieben wird, sieht man aus der Mittheilung eines Civilingenieurs zu Newcastle, Chapman. Er erzählt, daß ein Arbeiter sich auf das Ventil setzte, um seinen Kameraden das Schauspiel einer hüpfenden Bewegung zu geben, in welche er, wie er sagte, versetzt werden würde, wenn der Dampf ihn erst zu heben vermöchte. Wie voraus zu sehen, öffnete sich das Ventil aber nicht, sondern der Kessel zersprang. Die umhergeschleuderten Stücke verwundeten und tödteten eine große Anzahl von Personen.

Durch die allmälige Steigung der Spannkraft des Dampfes entstehen auch oft Explosionen, wenn die Ventile überhaupt nicht in Ordnung sind. Wäre dies im Gegentheil stets der Fall, so könnten auf diese Art nie Explosionen entstehen. Hier erweiset sich mitunter eine schwache Stelle im Kessel als Sicherheitsventil; sie kann den Druck nicht aushalten und in Folge dessen entsteht eine Oeffnung, die statt des Ventiles den Dampf ausläßt. Wird hierdurch auch mitunter eine Explosion verhindert, so darf man aus diesem glücklichen Zufall doch nicht folgern, eine oder die andere dünnere und schwächere Platte zum Bau des Kessels zu verwenden.

Um die Explosionen, welche durch Ueberlastung des Ventiles entstehen, unmöglich zu machen, hat man als Schutzmittel Scheiben aus einer Legirung von Zinn, Blei und Wismuth verwendet. Diese schmelzen bei einer um Vieles niedrigeren Temperatur, als die, welche der Spannkraft des Dampfes entspricht, welche der Kessel gut auszuhalten vermag. Mit dem Schmelzen der Scheiben ist dem Dampfe ein Ausweg gegeben und man sollte glauben, daß dadurch die Explosionen dieser Art unmöglich gemacht worden wären. Aber der Maschinist weiß wohl, daß er das Schmelzen der Scheiben durch Abkühlen mit Wasser verzögern kann. Ueberhaupt wird auch der Schmelzpunkt der Legirung durch den Druck, der fortdauernd darauf ausgeübt wird, bedeutend erhöht, so daß die Sicherheit, welche sie bieten, keineswegs durchaus zuverlässig ist.

Die Explosionen, welche durch eine fortwährende Dampfanhäufung entstehen, lassen sich sehr leicht erklären; nicht aber die, welche eine plötzliche Dampfentwickelung zur Ursache haben. Es ist vielfach beobachtet worden, daß einzelne Stellen des Dampfkessels ins Glühen gerathen waren, ohne daß eine Explosion erfolgte. Die Umstände, welche ferner noch hinzutreten müssen, um eine Explosion zu bewirken, sind nicht immer klar zu erkennen.

Besonders auffallend erscheint es bei den Explosionen der letzteren Art, daß sie oft gerade in dem Augenblick eintreten, wo das Sicherheitsventil, das ja gerade Unglücksfälle verhüten soll, sich öffnet und daß der Katastrophe fast beständig eine scheinbare Abnahme der Elasticität des Dampfes vorhergeht. Diese Fragen hat zuerst Perkins erörtert, indem er auf die nachtheiligen Folgen eines zu niedrigen Wasserstandes im Kessel aufmerksam machte. Hier hat der Dampf, der mit den

rothglühenden Flächen in Verbindung steht, zwar eine sehr hohe Temperatur, aber doch nur eine mäßige Spannkraft. Perkins bemerkt, daß in solchen Fällen der Dampf eine Temperatur von 5 bis 600° erreichen kann, während die des Wassers noch auf 100° und einige Grade darüber ist. Oeffnet sich das Sicherheitsventil, so findet eine schnelle Entweichung des Dampfes statt und da dadurch das Wasser von dem auf ihm lastenden Drucke befreit wird, so schäumt es stark auf, ähnlich wie eine mit Kohlensäure beladene Flüssigkeit, sobald man den Stöpsel der Flasche lüftet. Ueberhaupt findet dieses Aufschäumen des Wassers jedes Mal statt, so oft der Dampf zur Speisung der Maschine aus dem Kessel austritt, weil auch hier stets ein Theil des auf dem Wasser lastenden Druckes plötzlich verschwindet, oder wenn auf irgend eine andere Art der Dampf plötzlich entweicht. In einem erhöhten Maße tritt diese Bewegung des Wassers ein, wenn das Sicherheitsventil gerade in dem Augenblick geöffnet wird, wo die Maschine, nachdem sie still gestanden, wieder zu arbeiten beginnt.

Dadurch, daß bei diesem Aufschäumen das Wasser in kleinen Tröpfchen in einen Dampf von sehr hoher Temperatur geschleudert wird, soll sich nach Perkins, indem das Wasser einen Theil der Wärme des Dampfes absorbirt, eine so große Menge Dampf von hoher Spannkraft bilden, daß für diesen das geöffnete Ventil keinen genügenden Ausweg darbietet. Ueberdies sind ja die Wände des Kessels durch die Ueberheizung geschwächt und daher erfolgt leicht eine Explosion.

Der Behauptung von Perkins, daß eine sehr hohe Temperatur des Dampfes selbst bei schwacher Spannung bestehen könne, steht freilich nichts entgegen. Da das Wasser weniger heiß ist, als der Dampf, welcher leicht die Temperatur der überheizten Wände annimmt und sie nur dem Deckel des Kessels mittheilt, so kann die Spannung dieses Dampfes niemals die übertreffen, welche der Temperatur des Wassers entspricht. Der Temperaturüberschuß des Dampfes kann also nur die Dichtigkeit desselben vermindern, so daß bei fortwährend vermindertem Wasserstand zuletzt eine beträchtliche Abnahme der Spannung eintreten wird. Dagegen aber hat Dulong gezeigt *), daß, wenn das emporgespritzte Wasser durch die theilweise Abgabe der Wärme des Dampfes in Dampf verwandelt wird, nicht eine neue Spannkraft zu der schon vorhandenen hinzutritt, sondern daß vielmehr hierdurch eine plötzliche Verminderung der Spannkraft des Dampfes herbeigeführt wird, und zwar ist diese um so beträchtlicher, je höher die Temperatur des Dampfes. Diese plötzliche Verminderung der Spannkraft hat unmittelbar ein gewaltiges Aufschäumen des Wassers zur Folge und dadurch, daß das emporgeschleuderte Wasser mit den überheizten Kesselwänden in Berührung kommt und diese den Ueberschuß der Wärme an dasselbe abgeben, wird eine große Menge Dampf entwickelt, welche eine Explosion herbeiführt. Arago führt zwar **) einen Versuch an, auf welchen Perkins seine Ansicht stützt, aber auch hier ist es mehr als wahrscheinlich, daß die plötzliche Zunahme der Spannkraft des Dampfes von der directen Einwirkung der glühenden Wände herrührte.

Man hat hiergegen zwar den Leidenfrost'schen Versuch angeführt, der uns zeigt, daß Wasser auf glühendem Metall nur sehr wenig verdampft. Dies

*) Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 596.
**) Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 419.

findet jedoch nur statt, wenn einzelne Tropfen mit dem glühenden Metall in Berührung kommen. Wegen ihres unbedeutenden absoluten Gewichtes und der geringen Adhäsion der Flüssigkeiten zu dem glühenden Metall verändern die Wassertropfen ihre Kugelgestalt nur wenig. Sie bieten daher dem unmittelbaren Uebergange der Wärme nur eine geringe Berührungsfläche dar. Anders ist es dagegen, wenn durch das starke Aufschäumen des Wassers dasselbe gegen die glühenden Kesselwände geschleudert wird. Es ist hier wohl denkbar, daß eine große Berüheungsfläche gebildet wird und diese macht die gewaltige Dampfentwickelung leicht erklärbar.

Die Verlangsamung im Gange der Maschine, die man gewöhnlich einige Zeit vor der Explosion wahrnimmt, erklärt Arago *) auf folgende Weise. Die Dampfmenge, welche sich in einer gegebenen Zeit entwickelt, ist im Allgemeinen der Größe der mit der Flüssigkeit in Berührung stehenden Metallfläche proportional. Hat diese durch das Sinken des Wasserspiegels an Größe abgenommen, so kann sich nicht mehr die zum gewöhnlichen Gange der Maschine erforderliche Dampfmenge entwickeln. Man könnte glauben, daß durch die Steigerung der Temperatur, welche der Dampf erfährt, hier eine Compensation eintreten könnte, aber wir haben schon gezeigt, daß hierdurch die Elasticität des Dampfes nicht über die gesteigert werden kann, welche der Temperatur des Wassers entspricht.

Mit der Theorie von Perkins bringt Arago auch das häufig vorkommende Reißen der Seitenwände in horizontaler Linie in Verbindung. Daß hier die Linie des Wasserspiegels, trotz der ungleichen Dicke des Kessels in derselben zur Linie des geringsten Widerstandes wird, erklärt er durch die schnell auf einander folgende Verminderung und Vermehrung der Spannung, wodurch der obere Theil der Kesselwände bei der Trägheit des in dem Kessel befindlichen Wassers um die in der Höhe des Wasserspiegels befindliche Linie zuerst von Außen nach Innen eingebogen, dann aber wieder plötzlich ausgedehnt wird. Man braucht nur ein einziges Mal gesehen zu haben, mit welcher Leichtigkeit sich Bleche, selbst aus den geschmeidigsten Metallen, zerbrechen lassen, wenn man sie in einer Linie plötzlich einmal hin und her biegt, um zu begreifen, wie die Linie, bis zu welcher sich das Wasser im Kessel erhebt, dadurch, daß sie als Charnier für die beiden entgegengesetzten Biegungen dient, für gewöhnlich auch zur Linie des Zerreißens dient. Uebrigens theilt diese Linie, was wohl zu merken ist, den Kessel in zwei Zonen von sehr ungleicher Festigkeit, indem oberhalb derselben das Metall weit stärker erwärmt ist als das Wasser.

Mit Hülfe der Theorie von Perkins erklärt Arago alle Explosionen, deren nähere Umstände festgestellt worden waren. Wir wollen hier nur auf zwei merkwürdige Thatsachen aufmerksam machen: auf das fast gleichzeitige Zerspringen mehrerer Kessel, die gemeinschaftlich zur Speisung einer einzigen Dampfmaschine angewendet wurden **) und auf das Zerspringen eines Kessels in freier Luft ***). Da im ersteren Falle alle Kessel durch ein und dieselbe Pumpe gespeist werden und die Arbeiter bei der Verdampfung des Wassers das Feuer in jedem der Oefen

*) Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 421.
**) A. a. O. S. 292.
***) A. a. O. S. 299.

verstärken, so ist ein starkes Sinken des Wasserspiegels und eine ungewöhnliche Erhitzung der Wände gleichzeitig in allen Kesseln sehr leicht denkbar. Nimmt man nun an, daß der erste Kessel in Folge des Aufspringens des Sicherheitsventiles explodirt, so wird die Röhre, durch welche der Dampf dieses Kessels gehen muß, um in den Pumpenstiefel zu gelangen, von jetzt an in die Atmosphäre münden. Da nun jeder Kessel eine solche Röhre hat und alle in demselben Cylinder zusammenlaufen, so stehen diese durch denselben auch alle in freier Communication mit der Luft. Der Dampf, der sie erfüllte, strömt mit Schnelligkeit durch diesen weiten Kanal aus und in einer unmerklichen Zeit stellen sich bei allen Kesseln dieselben Bedingungen zum Zerspringen ein, die in dem schon zersprungenen vorhanden waren, ohne daß man ein gleichzeitiges Oeffnen aller Ventile anzunehmen braucht.

Um eine Einsicht in den zweiten Vorfall zu gewinnen, ist eine Erörterung einiger Vorbegriffe zweckmäßig. Man darf nicht glauben, daß ein aus gehämmerten Platten bestehender Kessel nothwendig an seiner Stelle bleiben müßte, welche Oeffnung auch in ihm entstünde. Ist der Kessel völlig verschlossen, so bleibt er zwar in Ruhe, wie groß auch die Elasticität des darin eingeschlossenen Gases sein mag; allein dies rührt daher, daß der Druck auf jeden Punkt der Wand durch den Druck auf den gegenüberliegenden Punkt aufgewogen wird. Der Kessel würde sich aber heben, wenn der Druck gegen die obere Wand dazu ausreichte und gleichzeitig der ihm gleiche Druck, welcher auf den Boden von oben nach unten wirkt, vernichtet, oder, was ganz einerlei ist, der Boden des Kessels plötzlich zerstört würde. Die nicht aufgehobene Kraft, die in ähnlichen Fällen eine Bewegung herbeiführt, nennt man Reactionskraft.

Nun wird es leicht sein, zu erklären, wie ein Dampfkessel in der Luft zerspringen könne. Wird durch die starke Dampfentwickelung, die in der Regel der Explosion vorhergeht, das Ventil geöffnet, welches sich gewöhnlich oben im Deckel befindet, so drückt die Reactionskraft den Kessel nur noch stärker gegen seine Unterlage. Entweicht aber der Dampf in einer Richtung von oben nach unten aus einem Risse in den Seitenwänden, so kann der Kessel, falls der Dampf nur die nöthige Spannkraft besitzt, in der entgegengesetzten Richtung fortgeschleudert werden, denn er befindet sich unter denselben Umständen wie eine Rakete. Bei dieser findet das durch die Verbrennung des Pulvers entwickelte Gas eine Wand, auf welche es gegen die Spitze der Rakete hin wirken kann, während gegenüber, an der Basis des Kegels, die Wand fehlt. Auf diese Weise steigen die Raketen in die Höhe. Beim Emporschleudern des Kessels tritt nun nothwendig durch die Erschütterung ein bedeutendes Schwanken des Wassers ein und dies hat wieder eine gewaltige Dampfentwickelung zur Folge, durch die der Kessel aus einander gesprengt wird.

Gegen die Theorie von Perkins sind von verschiedenen Seiten Zweifel erhoben worden. So glaubt Hauy *), daß man zur Erklärung aller Phänomene, die bei Explosionen auftreten, weder einen großen Unterschied zwischen der Temperatur des Dampfes und jener des Wassers, welches denselben liefert, noch ein Sinken des Wasserstandes im Kessel, noch ein tumultuarisches Aufsieden und ein Emporschleudern der Flüssigkeit anzunehmen nöthig hat. Ihm genügt die Annahme,

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. XLVIII. S. 333.

daß wenn eine höhere Temperatur des Kessels einerseits eine raschere Verdampfung hervorbringt, doch andererseits die Wände die Eigenschaft verlieren, von dem Wasser benetzt zu werden, so daß also die Berührungspunkte sich vermindern und die Wärme nur in Entfernungen abgegeben werden kann. Um mit dieser einfachen Grundlage auszureichen, nimmt Hauy freilich an, daß die Temperatur des Maximums der Verdampfung nicht der Siedepunkt ist, sondern wenig über der dunkeln Rothglühhitze liegt. Daher kann denn auch das Leidenfrost'sche Phänomen, auf welches die Erklärung, welche uns hier für die Kessel-Explosionen geboten wird, hinausläuft, bei jedem Kessel, selbst wenn er gehörig mit Wasser versehen und nur der Boden dem Feuer ausgesetzt ist, eintreten. Diese Annahme macht es unnöthig auf diese Theorie weiter einzugehen.

Boutigny *) sieht gleichfalls das Leidenfrost'sche Phänomen oder wie er es nennt, den sphäroidalen Zustand, als die Ursache der plötzlichen Dampfentwickelung an, durch welche die Explosionen bewirkt werden. Wie Boutigny aber mit seiner neuen Physik überhaupt wenig Glück gemacht hat, so auch hier. Man nennt seine Auffassungsweise eine unwissenschaftliche, wenn schon sie von der französischen Akademie mit 1000 Franken belohnt worden ist.

Jacquemet, ein Fabrikant in Bordeaux, verwirft **) sämmtliche Angaben, die wir oben als die Ursachen einer plötzlichen Dampfentwickelung angegeben haben. Er beruft sich hierbei auf das Experiment und die Praxis. Nach ihm giebt es keine plötzliche Dampferzeugung durch die gesammte, unter gewissen, oben angeführten Umständen, aufgespeicherte Wärme. Und selbst dann, wenn es sich hierbei so verhalten sollte, wie man bisher annimmt, so glaubt er dennoch durch Rechnung den Beweis geliefert zu haben, daß die durch Gesetze vorgeschriebene Weite der Sicherheitsventile, welche oft noch von den Maschinenbauern zur Verminderung der Möglichkeit einer Explosion überschritten wird, vollkommen ausreiche, um alle Dämpfe hinaus zu lassen, die sich unter allen nur denkbaren Umständen bilden können.

Er sieht als die einzige Ursache der Explosionen eine Hemmung des Dampfausflusses an, die auf folgende Art herbeigeführt werden soll. Giebt man dem Dampfe in dem oberen Theile des Kessels einen freien Ausweg durch eine Oeffnung, welche im Vergleich zur Feuerfläche sehr klein ist, so geht nur Dampf heraus. Ist aber die Oeffnung ein wenig größer, so kommt gleichzeitig mit dem Dampf eine gewisse Menge Wasser, welche desto größer ist, je weiter die Oeffnung. Bei einer Weite endlich, die noch unter derjenigen ist, welche man gewöhnlich dem Ventile giebt, kommt nur Wasser, dem Dampfe wird plötzlich der Weg versperrt, so daß er sich durch eine Explosion Bahn bricht.

Diesen Vorgang sucht Jacquemet dadurch zu erklären, daß, bevor der Ausweg geöffnet wird, das im Kessel befindliche Wasser eine bedeutende mit der Temperatur proportionale Menge Dampf einschließt, der sich eben bilden will, und dessen Druck demjenigen gleich ist, welchen die den freien Raum erfüllenden Dämpfe

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXXIII. S. 437.

**) Mémoire sur la cause des explosions dans les chaudières à vapeur et les moyens de les prévenir. Paris 1840. Deutsch: Verhandl. d. Vereins z. Beförderung d. Gewerbefleißes in Preußen. 1841. S. 180 u. 229.

besitzen. Ist die Oeffnung nur klein, so wird der Dampf mit einer Pressung entweichen, die nur wenig von derjenigen verschieden ist, welche der Kraft der entstehenden Dämpfe das Gleichgewicht hält. Die Dampfblasen werden, wegen ihrer specifischen Leichtigkeit, Zeit haben die Oberfläche zu gewinnen, um von dort zu entweichen und es wird in diesem Falle nur Dampf herausgehen. Wird aber beim Aufmachen einer geräumigen Oeffnung das Gleichgewicht völlig gestört, die Spannung also plötzlich vermindert, so erhebt sich das Wasser als Schaum, dessen Bildung durch die als Schlamm ausgeschiedenen festen Bestandtheile des Wassers sehr erleichtert wird, und da das Wasser nicht Zeit hat sich in Dampf zu verwandeln, wird es mit dem Dampfstrom fortgeführt. Dasselbe kann durch eine zufällige Vermehrung des Dampfausflusses beim Gang der Maschine eintreten und dadurch gleichfalls Wasser in die den Dampf fortführenden Röhren gelangen, wodurch Jacquemet die kurz vor der Explosion eintretende Verlangsamung im Gange der Maschine erklärt. Während die Sicherheitsventile, nach der Ansicht von Jacquemet, vollständig ausreichen, um in einem sehr kurzen Zeitraume ein außerordentlich großes Volumen von Dampf herauszulassen, kann aus ihnen doch nur ein kleines Volumen Wasser treten, welches bei einem innern Druck von 5 Atmosphären nur eine Geschwindigkeit von 28 Meter in der Secunde hat, während der Dampf eine solche von 5 bis 600 Meter besitzt. Wenn nun in diesem Fall die Bildung neuer Dämpfe, die nöthig sind, um den durch das Ausströmen leer gewordenen Strom wieder zu sättigen, nicht vermag die während der Zeit hinzugekommene Wärme zu absorbiren, so wird die Temperatur der Flüssigkeit desto mehr steigen, je mehr ihre Masse abnimmt und die daraus entspringende elastische Kraft des Dampfes muß nothwendig das Bersten des Kessels herbeiführen.

Jacquemet berechnet, daß bei einem Druck von 5 Atmosphären, wenn der vom Dampf eingenommene Raum des Kessels 1000 Liter oder das Gewicht dieses Dampfes 2,58 Kilogramm beträgt und in einer Secunde 2,46 Kilogramm Dampf gebildet werden, die Spannung am Ende der zweiten Secunde 14 Atmosphären beträgt. Vermag der Kessel nicht mehr als das Dreifache des Druckes, bei dem er zu arbeiten bestimmt ist, auszuhalten, so muß nothwendig die Explosion zu Anfange der dritten Secunde erfolgen. Selbst dann, wenn nicht, wie dies in der Wirklichkeit auch wohl der Fall ist, reines Wasser, sondern ein Gemenge von Wasser und Dampf ausströmte, so daß wegen der geringern Dichtigkeit und dadurch bedingten bedeutenderen Geschwindigkeit, selbst das vierfache Volumen fortgeschafft würde, soll die Explosion um kaum eine Secunde verzögert werden. Für den Fall, daß durch eine Ueberhitzung der Wände die Dampfentwickelung sehr vermehrt wird, kann man diese Annahme gelten lassen; bei einer normalen Dampfentwickelung jedoch erfolgt die Druckvermehrung keineswegs so schnell, wie Jacquemet annimmt. Würde er auch diesen Fall berechnet und ihm seine bisherigen Annahmen zu Grunde gelegt haben, so würde er gefunden haben, daß eine geraume Zeit dazu gehört, um den Druck auf das Doppelte zu steigern und daß dieser Zeitraum ausreicht, um mehr als das doppelte Volumen Wasser ausfließen zu lassen, das der Kessel überhaupt zu fassen vermochte. Dies gilt selbst dann, wenn man annimmt, daß stets Wasser ausströmt, während in Wirklichkeit das Austretende doch ein Gemisch von Wasser und Dampf ist. Zudem muß ja die Bildung neuen Schaumes aufhören, sobald die Spannung größer wird, als die zur Temperatur der Flüssigkeit gehörige. Uebrigens gelang es Arago, Dulong und Sorel

nicht, den Druck im Kessel dadurch zu erhöhen, daß sie dem Dampf einen weiten Ausweg gewährten.

Es scheint, daß Jacquemet diese Unsicherheit selbst gefühlt hat. Wenigstens legt er im Verlaufe seiner Abhandlung auf diesen Umstand kein sehr großes Gewicht, indem er als die eigentliche Ursache der Explosion noch einen anderen aufführt. Es ist dies der Stoß, der jedes Mal sehr fühlbar in dem Augenblick eintritt, wo die Flüssigkeit in die Ausflußöffnung gelangt und den Ausfluß des Dampfes plötzlich hemmt und der nun eben so plötzlich einen Druck gegen die Wände des Kessels äußert, der an verschiedenen Stellen eine ungleiche Stärke besitzt. Aus der ungleichen Stärke des Druckes gegen verschiedene Stellen der Wände erklärt Jacquemet auch das zuweilen vorkommende Reißen derselben in horizontaler Linie.

Die ganze Wichtigkeit dieses Umstandes will Jacquemet erst im Verlaufe seiner Untersuchungen erkannt haben. Er sieht darin eine mächtige und schnelle Ursache der Explosion, die es selbst dann noch bleibt, wenn der Zufluß der Wärme vom Herde außerordentlich langsam ist. Ja er geht noch weiter und behauptet, daß, wenn ein bestimmter Druck im Innern vorhanden ist, und man das Eindringen einer größeren Wärmemenge, z. B. durch das Auslöschen des Feuers hemmt, das schnelle Aufmachen einer weiten Oeffnung ebenfalls noch den Kessel in einem Theile seiner Wandung einem Drucke aussetzt, der viel beträchtlicher ist, als der zuvor von dem Kessel ausgehaltene und das Zerreißen desselben veranlassen kann.

Jacquemet hat es unterlassen, durch Rechnung, obgleich er sonst damit nicht sehr sparsam ist, den Nachweis zu liefern, daß dieser Stoß wirklich die Kraft besitzen kann, um einen sonst in gutem Zustande befindlichen Kessel zu zersprengen. Er führt an, daß die Theorie des Stoßhebers mit dessen Wirkung er diesen Stoß vergleicht, noch nicht so ausgebildet sei, um eine Basis für die mathematische Berechnung des Druckes abgeben zu können, welchen gewisse Theile des Kessels unter den verschiedenen Bedingungen, die man als möglich voraussetzen kann, auszuhalten haben.

Eine ähnliche Ursache giebt auch Gensoul *) für die Unglücksfälle an, welche manchmal durch das plötzliche Oeffnen der Ventile herbeigeführt werden. Er glaubt hierbei folgende Thatsache auf die Dampfkessel anwenden zu können. Bei einem Metallrohr, das eine stark zusammengedrückte Flüssigkeit enthält, genügt ein schwacher Schlag auf seine Wände, um es zu zertrümmern, während eine selbst sehr starke Vermehrung des Drucks, sobald sie allmälig und ohne Stoß eintritt, eine solche Wirkung durchaus nicht äußert. In Folge dessen genügt seiner Ansicht nach, sobald die Wände der Dampfkessel durch den Dampf stark von innen nach außen gespannt werden, der geringste Stoß, um eine Explosion herbeizuführen. Ein solcher soll nun eintreten durch die heftige Rückwirkung, welche der Kessel gegenüber der Stelle erfährt, wo der Dampf plötzlich entweicht. Hier wäre aber erforderlich, daß der Dampf vor der Explosion eine große Spannkraft besitze, wogegen doch oft diese Unglücksfälle in dem Augenblick eintreten, wo der langsame Gang der Maschine eine völlige Sicherheit scheint einflößen zu müssen.

*) Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 429.

Donny hat gefunden *), daß, wenn man möglichst von Luft befreites Wasser erhitzt, das Sieden eine auffallende Einwirkung durch die Cohäsion und Adhärenz erleidet. Es gelang ihm Wasser bis etwa 135° C. zu erhitzen, ohne daß sich die geringste Spur von Sieden zeigte, obgleich das Wasser keinem Druck unterworfen war. Gelang es endlich die Flüssigkeit zu zertheilen, so trat eine dermaßen bedeutende und plötzliche Dampfbildung ein, daß sie sehr einer Explosion glich. Durch anhaltendes Sieden von Luft befreiten Wassers konnte Donny im Kleinen Explosionen nachahmen, die denen der Dampfkessel ähnlich waren; der kleine, freilich sehr zerbrechliche Apparat zerbrach und die Ausdehnung des Dampfes schleuderte die Glasstückchen weit fort. Da nun das Wasser in den Dampfkesseln durch anhaltendes Kochen von der darin eingeschlossenen Luft befreit wird, so scheint es ihm nicht „unvernünftig", daß eine plötzliche Aufhebung der Cohäsion die unmittelbare oder mittelbare Ursache der schrecklichen Dampfkessel-Explosionen werden kann.

Bei den Dampfmaschinen kommt mitunter noch eine andere Art von Explosionen — ein Eindrücken der Kessel von außen — vor. Arago schreibt diese der plötzlichen Condensation der Dämpfe, z. B. durch Eintreten von kaltem Wasser in den mit Dampf erfüllten Raum, nachdem das Feuer ausgelöscht worden ist, zu, wo dann der atmosphärische Druck in einem fast untheilbaren Augenblick sein Gegengewicht verliert und dadurch auf die gesammten Wände des Kessels als ein Stoß wirkt. Bei Kesseln, die nur bei einem sehr geringen Druck arbeiten und außerdem noch durch Ueberheizung bedeutend geschwächt worden sind, kann dieser Fall wohl unter den angegebenen Umständen eintreten, aber daß ein solches Vacuum, in einem Kessel, der sich in voller Thätigkeit befindet, entstehen könne, wie dies behauptet worden, ist eine Annahme, die jeder Stütze entbehrt.

Auch in offenen Kesseln kommen Explosionen vor. Parkes **) spricht von solchen, die beim Aufbrechen der Kalkkrusten in den Salzsiederpfannen auftreten. Kam hierbei die Soole mit der rothglühenden Fläche in Berührung, so wurde unmittelbar darauf eine mächtige Wassersäule in die Höhe geschleudert. Ueber eine sowohl in theoretischer als praktischer Hinsicht sehr merkwürdige Explosion dieser Art berichtet Conrad ***). Sie fand statt in einer Fabrik zu Eilenburg beim Eindampfen einer holzessigsauren Natronlösung, die durch Zersetzung des holzessigsauren Kalkes durch schwefelsaures Natron bereitet worden war. Ein eiserner Kessel von $1\frac{1}{2}$' Tiefe, 2' im Durchmesser und $\frac{3}{4}$'' dicken Wänden war bis zu zwei Drittel mit der heiß filtrirten Lösung gefüllt, die während des Abdampfens durch einen zuverlässigen Arbeiter mittelst eines hölzernen Spatels bewegt wurde. Urplötzlich erfolgte ein eigenthümlicher, dem Kanonendonner kaum vergleichbarer Knall, der, begleitet von einer eben so momentanen Feuererscheinung, den Kessel zersprengte und dadurch bedeutende Zerstörungen anrichtete. Der Arbeiter wurde nur wenige Schritte vom Kessel entfernt erschlagen gefunden; 10 Pfund schwere Randstücke des Kessels 150 Schritt weit fortgeführt. Ein Mauerstein war mit solcher Gewalt gegen eine 70 Schritt entfernte Wand geworfen,

*) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 572.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXXIII. S. 16.
***) Journ. f. prakt. Chemie. Bd. XLIV. S. 190.

daß ein Stück desselben, gleich einer Kanonenkugel, darin sitzen blieb. Zwei Arbeiter, die sich in einem anderen Flügel des Gebäudes auf der Treppe befanden, wurden heruntergehoben und nach ihren Aussagen durch einen blauen Dunst zum Fenster hinausgetrieben. Der Knall wurde in einer Entfernung von mehr als zwei Stunden gehört und die Erschütterung war so groß, daß selbst in dem 600 Schritt entfernten Hospital und anderen Gebäuden mehrere Scheiben zersprangen; selbst auf dem Markte, mitten in der Stadt sprangen Thüren und Fenster auf und wurden Möbel und Hausgeräth in Bewegung gesetzt.

Nach der Detonation fand sich am Boden des Kessels ein Absatz, der zumeist aus schwefelsaurem Natron bestand; da, wo er am Kessel anlag, war er in einer Dicke von 2 bis 3 Linien verkohlt. Es ist möglich, daß der Boden des Kessels ins Glühen gerathen und dadurch eine Reduction des schwefelsauren Natrons durch die Kohle zu Schwefelnatrium eingetreten war, während sich noch Flüssigkeit über dieser Kruste befand, durch deren Zusammentreffen mit der glühenden schwefelnatriumhaltigen Masse die Explosion entstand. Es ist ja bekannt, mit welcher Heftigkeit sich manche Pyrophore beim Zusammentreffen mit Wasser entzünden und explodiren. Diese in ihren Folgen furchtbare Explosion zeigt aufs Eindringlichste, wie vorsichtig man sein muß beim Erhitzen von Flüssigkeiten, sobald solche die Kesselwände mit einer Kruste überziehen, so daß ein Erglühen der Wände möglich ist.

Auf eine Erörterung derjenigen zahlreichen Vorrichtungen, die man angegeben hat, um die zerstörenden Explosionen zu verhindern, gehen wir hier nicht ein, da sie durchaus keine Gewähr leisten, so lange die Dampfmaschinen ungeschickten, unerfahrenen und einfältigen Arbeitern überlassen sind, die keine Einsicht besitzen in die Vorgänge, zu deren Ueberwachung und Regelung sie bestimmt sind. Im Gegentheil sind die Vorrichtungen nur schädlich, sobald sie als Universalmittel angepriesen werden, indem sie der Fahrlässigkeit nur Vorschub thun. Da der Maschinist oder Heizer, deren Unachtsamkeit allein die Schuld der Explosion trägt, zumeist bei dergleichen Fällen als die ersten Opfer fallen, so sollte man glauben, daß dieser Umstand ausreichen müßte, um diese Leute zur größten Achtsamkeit anzutreiben; aber die Erfahrung lehrt gerade das Gegentheil. Diese gefährliche Sorglosigkeit hat zumeist ihren Grund in der Gleichgültigkeit, die eine jede Vertrautheit mit irgend einer Gefahr stets erzeugt und in dem Umstande, daß eine sorgsame Vorsicht so sehr leicht für Furchtsamkeit gehalten und von Anderen lächerlich gemacht wird. Die Erfahrung zeigt, daß da, wo das Brennmaterial billig und die Kosten desselben nicht sehr ins Gewicht fallen, die Explosionen viel häufiger vorkommen als da, wo man wegen des hohen Preises des Brennmaterials gezwungen wird, ökonomisch damit umzugehen. Den Beweis hierfür liefern z. B. die Kohlendistricte in England. In einem kleinen Districte um Wednesbury ereigneten sich im Laufe eines Jahres (1842) mehr Explosionen an Niederdruckkesseln als in Cornwallis innerhalb 40 Jahren, obgleich man sich hier des höchsten Druckes bediente. Parkes ist auch der Ansicht, daß die Kohlendistricte von Northumberland, Durham und Staffordshire mehr Unglücksfälle dieser Art aufzuweisen haben als das ganze übrige England. Er glaubt im Besitze von fast allen Explosionen zu sein, welche seit dem Erlöschen von Watt's Patent in Cornwallis, von welchem Zeitpunkte man anfing, die Maschinen mit höherem Druck arbeiten zu lassen, sich ereigneten, und doch lassen sich nur 5 oder 6 Beispiele anführen. Auch in

London finden im Verhältniß zu der Zahl der verwendeten Dampfkessel weniger Explosionen statt, als in irgend einem anderen Distriete von England. Den Grund dieser Thatsache sucht man gleichfalls in den bedeutenden Preisen des Brennmaterials, die eine größere Oekonomie gebieten. Man achtet deshalb mehr auf eine regelmäßige Dampfzuführung und vermeidet sorgfältig jene intensive Thätigkeit des Feuers, welche, wenn die Maschine auf einige Zeit still steht, eine Explosion zu veranlassen geneigt ist.

Es ist zuverlässig, daß der Dampf sich leicht und ohne alle Gefahr anwenden läßt, wenn die Vorrichtungen oder Maschinen, durch die er wirken soll, in den rechten Händen sind. Die Praxis selbst liefert die Beweise dafür. Sogar in den berüchtigten Kohlendistrieten Englands findet man solche; so kam in einem Eisenwerke bei Dudley in einem Zeitraume von 30 Jahren keine Explosion vor. Im französischen Departement Oberrhein kam bei 250 Dampfkesseln in 10 Jahren nur ein einziger bedeutender Unfall vor.

Wenn nun zur Genüge dargethan worden ist, daß die so vielen Schaden anrichtenden Explosionen keineswegs eine unerläßliche Beigabe der Dampfmaschinen sind, so scheint es einerseits wünschenswerth, daß durch geeignete Maßregeln die Zahl der Explosionen, durch welche jährlich eine nicht unbedeutende Zahl von Menschen ums Leben kommen, beschränkt wird, wobei man aber im Auge behalten muß, daß durch ein unzweckmäßiges Eingreifen höchst nachtheilige Folgen für die Industrie herbeigeführt werden können. Andererseits aber lehrt auch die Erfahrung, daß durch Strafen und ähnliche Maßregeln nichts gebessert wird, obgleich erstere nicht unbedeutend sind. Als einen Beleg hierzu wollen wir einen Ausspruch der Jury anführen, welchen diese bei Gelegenheit der zweiten Explosion in kurzer Zeit über das Dampfschiff Victoria 1838 aussprach. Er giebt zu dem noch mancherlei Einsicht in die Ursachen dieser Unglücksfälle. „Wir sahen nie ein Dampfboot, welches in Bezug auf die Passagiere mit mehr Glanz, Geschmack und Bequemlichkeit ausgerüstet gewesen wäre; nie sahen wir aber auch je so wenig auf die Maschinisten und Heizer Rücksicht genommen. Denn der diesen gegönnte Aufenthalt entspricht allen unseren Begriffen von einem vollendeten Pandämonium. Der Bau der Kessel der Victoria war unsicher; die Wasserräume waren zu eng; die Platten zu dünn. Endlich erklären wir es auch für höchst tadelnswürdig, daß die Maschinisten vom Maschinenraume aus keinen unmittelbaren Einfluß auf das Sicherheitsventil üben konnten. Wir verfällen daher den Kessel und die Dampfmaschine der Victoria in eine Strafe von 1500 Pfd. Sterling."

In neuerer Zeit ist man wieder sehr bemüht, die Polizei gegen diese Unglücksfälle aufzurufen. Man fordert wieder, wie schon oft geschehen, daß die, welchen die Aufsicht über Dampfmaschinen anvertraut werden soll, ein Examen abgelegt haben sollen. Es sind aber mehr als oberflächliche Kenntnisse erforderlich, um die Einrichtung der Maschine genau zu verstehen und mit den Naturgesetzen vertraut zu sein, auf denen ihre Wirkung beruht. Wie man heute bei dem Zustande unseres Unterrichtswesens solche von diesen Leuten, die doch nur eine sehr untergeordnete Stellung einnehmen, verlangen kann, ist nicht gut einzusehen. Daß durch ein Examen die traurigen Unglücksfälle nicht verhütet werden, beweisen eben die Locomotiven, die man besonders als Grund für diese Maßregel anführt. Es ist jedoch nicht zu leugnen, daß, auch ohne Examen, von Seiten der Fabrikbesitzer viel

Unglück könnte verhütet werden, wenn sie denen, deren Händen die Dampfmaschinen anvertraut sind, einen einsichtsvollen Unterricht ertheilen ließen. W. B.

Kesselstein, **Wasser-**, **Pfannenstein**, **Incrustationen** — in der Technik und Haushaltung auch fälschlich **Salpeter** — nennt man den Absatz, der beim Verdampfen des Wassers als feste Kruste in den Gefäßen zurückbleibt. Bei seinem Durchgange durch das Erdreich nimmt das Wasser, unser allgemeinstes Auflösungsmittel, eine große Menge fester Substanzen in sich auf, die sich beim Verdampfen der Lösungsmittel wiederum in fester Form ausscheiden müssen. Diese Absätze finden wir daher in allen Gefäßen, die ausschließlich dazu dienen, um das Wasser zum Kochen zu bringen, als festanhaftende Bekleidung der Wandungen. In den Kochgefäßen der Haushaltung, namentlich den Theekesseln 2c. stellen sie sich in geringerem Maße und nur erst nach längerer Zeit ein, weil hier keine eigentliche Verdampfung des Wassers, sondern nur eine Erwärmung desselben bis zum Kochen bezweckt wird. In einem ungleich größeren Maße muß diese Ausscheidung in den Dampfkesseln vor sich gehen, weil hier täglich bedeutende Mengen von Wasser in Dampf verwandelt werden. Je nachdem man sich zur Speisung der Dampfkessel des Fluß-, Brunnen- oder Meerwassers bedient, ist auch die Menge der Incrustationen geringer oder größer.

Werfen wir einen Blick auf die im Wasser aufgelösten Substanzen, so können es eben nur die Kalkverbindungen sein, welche diese Incrustationen veranlassen. **Johnson** *) untersuchte mehrere Kesselsteine und fand sie der Hauptsache nach aus Gyps ($2\,CaO, SO^3 + HO$) bestehend; bei einigen anderen führt er den kohlensauren Kalk als bei weitem überwiegenden Bestandtheil auf, doch zeigt ein solcher Absatz einen viel weniger festen Zusammenhang als die ersteren. Bald darauf beschäftigte sich auch **Cousté** **) mit der Untersuchung der Kesselsteine. Nach diesem sind die Absätze aus Meerwasser frei von kohlensaurem Kalk, dessen Abwesenheit durch Chlormagnesium bedingt sein soll, und hierdurch unterscheiden sie sich von den Absätzen aus heißem Wasser. Der schwefelsaure Kalk bewirkt demnach die Incrustation allein, indem er sich durch Krystallisation absetzt. Endlich lehrte ein Dampfkessel, der mit dem an kohlensauren alkalischen Erden reichen Wasser der neuen Quelle zu Ems gespeist wurde, daß die genannten Verbindungen bei der Bildung des Kesselsteines nicht die wichtigen Rollen spielen, welche man ihnen oft zuschreibt ***). Dieselben scheiden sich zwar ab, aber sie legen sich nicht rindenartig ab, sondern lassen sich in Gestalt eines pulverigen Niederschlages, eines Schlammes, ohne Mühe entleeren. Und daher war der Kessel, nachdem er die ganze Saison hindurch gearbeitet hatte, eben so rein wie zuvor, denn bei dem reichen Gehalt des Wassers an kohlensaurem Natron konnte der Gyps als solcher nicht bestehen.

Für die Industrie, namentlich aber für die überseeische Dampfschifffahrt, sind die Kesselincrustationen eine wahre Plage. Nicht allein, daß sie die Ursache abgeben zu entsetzlichen Explosionen (vergl. den Art. **Kesselexplosionen**), sondern sie sind auch aus vielen anderen Gründen sehr lästig und kostspielig. Je

*) **Dingler's** polytechn. Journ. Bd. CVII. S. 360.
**) Compt. rend. T. XXXV. p. 186.
***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 66.

dicker die Schichten werden, um so mehr sind sie der Mittheilung der Wärme entgegen und vermindern daher den Nutzen des aufgewendeten Brennmaterials. Diese Verluste sind sehr bedeutend. Cousté giebt sie bei Maschinen von niederem und hohem (5 Atmosphären) Druck auf 40 Proc., bei denen von mittlerem Druck (3 Atm.) auf 47 Proc. und bei Locomotiven auf 22 Proc. der erforderlichen Consumtion. Weiter bedingen diese Absätze daß die metallenen Kesselwände eine sehr hohe Temperatur annehmen, wodurch sie theils durch Orydation, theils durch starke Ausdehnung und Zusammenziehen beträchtlich leiden. Mehr noch ist dies der Fall beim Entfernen der Incrustationen durch Aufwendung einer großen Kraft mittelst Hammer und Meißel oder in den engen Sieberöhren durch Stangen Zu diesem Zwecke muß der Gang der Maschine oft unterbrochen werden und neue Verluste addiren sich zu dem schon angedeuteten Ausfall an Gewinn, weil ja die Arbeit eingestellt wird, und Mehraufwand an Brennmaterial, weil Mauerwerk und Kessel zuvor sich abkühlen müssen.

Nach dem Gesagten fällt die Wichtigkeit der Mittel, durch welche die Incrustationen verhütet werden, leicht in die Augen. Vorgeschlagen sind solche Mittel auch in großer Zahl. Im Allgemeinen lassen sie sich in zwei Abtheilungen ordnen: in mechanisch und chemisch wirkende. Die ersteren verhindern, zumeist durch Zwischenlagerung das feste Anlegen des Gypses an die Kesselwände. Seit langer Zeit sind die Kartoffeln, deren Werth für diesen Zweck der Zufall gelehrt haben soll, in England im Gebrauch als ein den Ansatz des Gypses verhinderndes Mittel. Der 50ste Theil des Gewichtes vom Speisewasser soll ausreichend sein. Durch die Einwirkung des Wassers und der Hitze wird die Stärke der Kartoffeln in Dextrin verwandelt, welches das Wasser schleimig macht. Die sich abscheidenden Gypstheilchen werden dadurch gleichsam mit einer schleimigen Hülle umgeben, und so das feste Anlegen derselben verhindert. Aehnlich wirkt auch der Thon, auf den zuerst von Chaix in Frankreich aufmerksam gemacht wurde; Sägespäne hat man gleichfalls mit gutem Erfolg in Anwendung gebracht. So günstige Zeugnisse die beiden letzten Mittel auch aufzuweisen haben, so hat man doch geglaubt von ihnen ablassen zu müssen, weil die feinen Theile mechanisch mit fortgerissen werden und zu Undichtheiten Veranlassung geben; eben so sagt man, daß bei dem Gebrauch der Kartoffeln das Wasser zu stark schäume und dadurch die Röhren verstopfe. Auf den englischen Dampfschiffen soll sich der Gebrauch der Fette sehr bewährt haben. Man setzt entweder dem Wasser Oel zu oder man überzieht die Wandungen mit Talg oder einem Gemisch aus Talg und Graphit. Als weitere nur mechanisch wirkende Mittel sind Scherben von Glas und irdenen Geschirren, Metallstücke oder Kugeln aus harten, in Wasser unlöslichen Körpern empfohlen worden, die durch das Sieden des Wassers in Bewegung gesetzt, die Wände und den Boden des Wassers beständig abscheuern und dadurch das Ansetzen des Gypses verhüten sollten. Bei gewissen Röhrenkesseln ist diese Methode jedoch nicht anzuwenden. Unter den chemisch wirkenden Mitteln nehmen die, welche sich Ritterbrandt 1841 patentiren ließ, mit die erste Stelle ein. Es sind dies Ammoniakverbindungen, unter denen bei der praktischen Verwendung der Salmiak seiner Wohlfeilheit wegen den Vorzug verdient. Nicht allein, daß dadurch die Bildung des Absatzes verhindert wird, sondern selbst schon vorhandener Kesselstein wird dadurch nach und nach entfernt. Ritterbrandt geht aber von der falschen Voraussetzung aus, daß der Kesselstein durch den kohlensauren Kalk gebildet werde und hiernach be-

stimmt er die Menge des Salmiaks, die man dem Wasser zusetzen muß. In der Praxis führt man diese Bestimmung auf folgende einfache Weise aus: man dampft, je nach dem Gehalt des Wassers an festen Bestandtheilen ein größeres oder geringeres Quantum (vielleicht bis zu 10 Pfund) bei gelinder Wärme in einer Porzellanschale zur vollständigen Trockne ab und wiegt den Rückstand. Durch verdünnte Salzsäure zieht man das Lösliche aus und wiegt das Zurückbleibende abermals; die Differenz beider Wägungen giebt die Menge des dem Wasser zuzusetzenden Salmiaks an. Zur Zersetzung des kohlensauren Kalkes reicht diese Menge wohl aus, da die Aequivalente beider Verbindungen fast gleich sind und durch die Salzsäure auch noch andere Salze gelöst werden. Aber das Aequivalent des schwefelsauren Kalkes ist bedeutend höher als das des kohlensauren Kalkes und des Gypses und daher thut man wohl besser dem Wasser ein Drittel mehr an Salmiak zuzusetzen, als das Gewicht des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes beträgt.

Da die Vornahmen dergleichen quantitativer Bestimmungen, wie wir sie hier vorgeschrieben haben, so wichtig sie auch erscheinen, nicht sehr beliebt sind, so wollen wir hier noch einige allgemeine Angaben machen, mit denen man für gewöhnlich wohl ausreicht. Nach Elsner reicht 1 Th. Salmiak im Allgemeinen für 1200 Th. Brunnenwasser hin, um die Bildung des Kesselsteines zu verhindern oder was dasselbe ist 1 Pfund Salmiak auf 20 Kubikfuß Wasser.

Der Salmiak wirkt dadurch, daß er den Gyps und auch den kohlensauren Kalk in lösliche Verbindungen (Chlorcalcium) umwandelt; das hierbei entstehende kohlensaure Ammoniak aber ist flüchtig und geht mit den Wasserdämpfen fort. Diesen Umstand muß man ins Auge fassen, wenn die Dämpfe des Kessels anderweit verwendet werden, wo das flüchtige Ammoniaksalz Schaden anrichten kann; so namentlich in der Färberei. Hier muß man natürlich zu anderen Mitteln seine Zuflucht nehmen.

Eines großen Rufes als Mittel gegen den Kesselstein genießt auch der Zuckersyrup. Man kann hier einen solchen verwenden, der sonst als Versüßungsmittel nicht gut zu gebrauchen ist, also die geringeren Abfälle der Siedereien. Für den ungenießbaren Runkelrübenzuckersyrup, der ja in großen Mengen zu haben ist, wäre dies eine sehr nützliche Verwendung, unbedingt heilbringender als die, welche er jetzt findet, wo er zur Darstellung von Branntwein dient. Vorgeschlagen wurde dieses Mittel von einem Farber in Lyon, Guinon. Er führt an, daß die Kessel in seiner Fabrik vor der Anwendung dieses Mittels alle Monate auf eine mühsame Weise von dem festen Absatz gereinigt werden mußten, wodurch immer eine Unterbrechung der Arbeit von mehreren Tagen herbeigeführt wurde. Seitdem aber das Wasser auf 25 Eimer einen Zusatz von 10 Pfund Cassonade oder Melassenzucker erhielt, bestand die alle zwei Monate ausgeführte Reinigung nur einfach in dem Ablassen des Wassers. Auch Guimet zieht den Zucker als bei weitem wirksamer entschieden dem Zusatz von Kartoffeln vor.

Daß Zucker im Stande ist Kalk aufzulösen, ist ja bekannt; seine Anwendung ist auch darum anzurathen, weil er den Wasserdämpfen keine irgend wie schädlichen Beimengungen liefert.

Auch gerbestoffhaltige Substanzen verhindern dadurch, daß sie den Gyps zersetzen, einen festen Absatz. Der gerbsaure Kalk ist freilich auch löslich, aber er setzt sich nur in Pulverform ab, nicht als feste Rinde und ist daher leicht zu ent-

fernen. Von den gerbstoffhaltigen Substanzen hat man folgende bereits in Gebrauch genommen: schlechte Sorten Catechu, Gelbholz, Eichenrinde, Galläpfel, Späne von Mahagoniholz; Eisner empfiehlt die Tormentillwurzel, die in Deutschland wild wächst und sehr reich an Gerbestoff ist. Um Beschädigungen an der Maschine zu vermeiden, ist es gut, die genannten Substanzen nicht in zerkleinerter Form dem Wasser zuzusetzen, sondern daraus ein Extract zu bereiten. Cové hat hier einen sehr praktischen Vorschlag gemacht; er hängt eichene Scheite in den Kessel so auf, daß sie die Wandungen desselben nicht berühren. Auf die Pferdekraft der arbeitenden Maschine rechnet er 4 bis 6 Pfund, die jeden Monat ersetzt werden. Weder auf den Dampf, noch auf die Maschine wird durch dieses, höchst einfache und billige Mittel irgend ein nachtheiliger Einfluß ausgeübt.

Das Extract von Eichenrinde hat sich namentlich bei den Locomotivkesseln bewährt. Die Verwaltung der Taunusbahn giebt diesem Mittel nach einem zweijährigen Gebrauch das rühmlichste Zeugniß Nicht allein werden dadurch die Absätze verhindert, sondern auch alte entfernt. Von den anderen Mitteln wollte sich keines bewähren, sie dienten mehr dazu die engen Räume zwischen den Röhren zu verunreinigen und zu verstopfen, so daß alle paar Tage die umständlichste Reinigung vorgenommen werden mußte und an sieben Maschinen nach kaum vierjähriger Dienstzeit das Einziehen ganz neuer kupferner Feuerbüchsen oder einzelner Platten derselben nöthig war, — Reparaturen, die Tausende von Gulden in Anspruch nahmen.

In neuester Zeit machte Fresenius auf das kohlensaure Natron (Soda) aufmerksam. Ein durch viele Monate hindurch angestellter Versuch in der bekannten Chininfabrik von Dr. Zimmer in Sachsenhausen bei Frankfurt a. M. gab ein über alle Erwartung günstiges Resultat Der Kessel, welcher früher in verhältnißmäßig kurzen Zwischenräumen vom Pfannenstein befreit werden mußte, blieb völlig blank, ja selbst die alten Krustenreste, welche so verhärtet waren, daß sie mechanisch nicht wegzubringen waren, verschwanden mit der Zeit völlig. Der Absatz bestand in einem zarten Schlamm, der leicht ausgeleert werden konnte. Zudem setzte er sich größtentheils in dem unter dem Dampfkessel gelegenen Vorwärmer ab. Durch die Einwirkung des kohlensauren Natrons auf den Gyps findet eine Zersetzung der Art statt, daß sich kohlensaurer Kalk, der als feines Pulver zu Boden fällt, und lösliches schwefelsaures Natron bildet.

Der Zusatz richtet sich natürlich nach dem Gehalte des Wassers an Gyps. Man hat dafür zu sorgen, daß die Soda stets in geringer Menge vorwaltet und daher das Wasser des Kessels von Zeit zu Zeit zu prüfen. Am besten geschieht dies, daß man eine Probe des dem Dampfkessel entnommenen Wassers, die, falls sie nicht ganz klar sein sollte, filtrirt werden muß, in zwei Theile theilt und die eine Hälfte mit Sodalösung und die andere mit klarem Kalkwasser versetzt. Bleibt jene klar und wird diese mäßig getrübt, so ist das Verhältniß das richtige. Findet aber das Umgekehrte statt, so muß Soda zugesetzt werden. Ist die Trübung mit Kalkwasser sehr stark, so ist die Menge der Soda zu groß; man muß daher von Neuem Wasser zusetzen, um das richtige Verhältniß herzustellen. Oder man prüft das Wasser ein für alle Male, da ja doch immer dasselbe gebraucht wird und kann nach dieser Probe leicht den Zusatz berechnen.

Kuhlmann hat dieses Mittel gleichfalls vorgeschlagen und seine Angaben machen jeden Probeversuch, dem der Techniker doch nur zu gerne aus dem Wege

geht, überflüssig. Für die Dauer eines Monats bringt man auf jede Pferdekraft 7 bis 10 Loth Soda in den Kessel. Man muß sich jedoch sehr hüten einen zu großen Ueberschuß an Soda anzuwenden, weil dadurch sehr bedeutende Nachtheile entstehen, indem die Löthungen oder Verkittungen undicht und so Störungen der Arbeit herbeigeführt werden können. Dergleichen sind vorgekommen und dadurch das Mittel in Mißcredit gekommen, während daran doch nur allein die geringe Umsicht, mit der es angewendet worden, Schuld ist. Ernstlichere Bedenken haben sich jedoch von anderer Seite erhoben, und so sehr man auch der Soda das Wort redete, um so dringender räth man jetzt von dem Gebrauch derselben ab. Nach längerem Gebrauch stellte sich heraus, daß die Kesselwände bedeutend angegriffen werden und Böttger schreibt diese Zerstörung einem Gehalt von Cyan zu, der sich in der im Handel vorkommenden Soda ohne Ausnahme nachweisen lassen soll. Obgleich nun die Soda die Bildung des Kesselsteins gänzlich verhindert, so ist Böttger doch der Ansicht, daß man aus dem angegebenen Grunde die Anwendung derselben unbedingt fallen lassen muß. Es ist hier die Frage, ob die Anwendung des kohlensauren Kalis (der Pottasche), das sich gegen Gyps eben so verhält wie Soda, nicht räthlicher erscheint, da bei feiner Darstellung die Bedingungen zur Bildung von Cyan weniger günstig sind. Und dann, in Anbetracht der erheblichen Verluste, die der Kesselstein dem Fabrikanten verursacht, scheint selbst dem Gebrauch des reinen kohlensauren Natrons der Kostenpunkt nicht entgegen zu stehen. Die Frage ist wichtig genug, um diese Punkte in Erwägung zu ziehen.

Außer den angeführten Mitteln sind noch viele andere empfohlen worden und auch an Geheimmitteln fehlt es nicht. Wir begnügen uns jedoch mit unserer Auswahl, da deren Werth fest steht. Schon oben haben wir manch günstiges Zeugniß für das eine oder das andere beigebracht; wir halten es jedoch nicht für unnöthig die Zahl derselben noch zu vermehren. In erster Linie steht eine Lobrede, welche die Times dem Vorschlage von Ritterbrandt hielt, nachdem dieses Mittel ein ganzes Jahr in den Kesseln der Maschinen in Anwendung gewesen war, welche die Schnellpressen dieser Weltzeitung treiben und jeden Tag 17 Stunden im Gange sind. Eben so lange war es bei einer Menge von großen und kleinen Dampfbooten, stationären Dampfmaschinen und Locomotiven, also in Kesseln, die mit dem verschiedenartigsten Wasser gespeiset werden, im Gebrauch gewesen und überall hatte sich der beste Erfolg gezeigt, so daß die Times hofft, daß endlich den schrecklichen Unglücksfällen, verursacht durch Explosionen in Folge des Kesselsteines, über welche sie genöthigt sei fast jede Woche zu berichten, ein schützender Damm gesetzt sei. Von der Society of Arts erhielt Ritterbrandt die goldene Isismedaille als Anerkennung; die Société d'Encouragement überreichte an Chair gleichfalls eine goldene Medaille. Die Commission der letzteren, welche die Angaben von Chair zu prüfen hatte, erklärte, daß dieses Mittel die besten Garantien gegen die Incrustationen biete. Dieser Ausspruch ist durch zahlreiche Zeugnisse von Befehlshabern französischer Marine-Dampfboote bewahrheitet worden, eben so wie die der englischen Flotte sich sehr günstig über den Gebrauch des Oeles oder Salmiaks geäußert haben. Das Journal of Arts berichtet sogar, daß ein Kessel bei der Anwendung von Oel selbst nach 17 Jahren noch in einem untadelhaften Zustande gefunden worden sei. Elsner hat die chemisch wirkenden Mittel besonders im Kleinen geprüft und sie sämmtlich zweckentsprechend gefunden.

Und trotz alledem, sehen wir uns in der Industrie um, so hält man allgemein

das Problem der Verhütung des Kesselsteines für unlösbar. So groß ist das Vorurtheil, daß man selbst von Versuchen absteht und sie von vorne herein als nutzlos verwirft. Hammer und Meißel sind die Mittel, welche hauptsächlich in Anwendung kommen und allen nachtheiligen Folgen, die der Kesselstein in so reichem Maße herbeiführt, unterwirft man sich geduldig; man sieht sie gleichsam als Schickungen einer höheren Macht an, gegen die jeder Kampf nutzlos ist.

In neuester Zeit soll diese für die gesammte Industrie so höchst wichtige Frage auf einem anderen Wege gelöst worden sein; nämlich durch eine einfache Vorrichtung an dem Kessel, durch welche eine fortwährende Bewegung des Wassers erzielt wird. Es soll hier die Bildung eines jeden Absatzes vollständig verhindert werden. Diese Vorkehrung ist noch Geheimniß; sie erfreut sich von Seiten der Fabrikanten eines großen Beifalls. Aehnliches ist bereits früher von Technikern angegeben, ohne jedoch eine beifällige Aufnahme zu finden.

Von eigenthümlicher Beschaffenheit ist der Absatz, welcher sich in den Kesseln beim Eindampfen des rohen Rohrzuckers bildet. Er wird veranlaßt durch den phosphorsauren Kalk, der sich beim Klären des rohen Saftes niederschlägt und sich so fest an die Wände anlegt, daß selbst Hammer und Meißel zu seiner Entfernung nicht ausreichen. Durch Brennen aber, wie die Zuckersieder sagen, wird der Kesselstein leicht entfernt. Zu diesem Ende bringt man ihn einige Secunden lang oder bis sein Boden dunkelroth glühend zu werden anfängt, über ein heftiges Feuer. Die von dem phosphorsauren Kalk reichlich eingeschlossene organische Substanz (Zucker, Farbstoff, Rohrtheilchen ꝛc.) verkohlen und nun läßt sich der Absatz, indem er in große Platten oder Krusten zerfällt, leicht ablösen. Avequin *) hat einen solchen Kesselstein untersucht; nachdem die organische Substanz durch Glühen zerstört worden war, fand er darin 92,43 Proc. phosphorsauren Kalk.

W. B.

Kette, elektrische, s. Säule, elektrische (galvanische).

Kettengebläse, s. Gebläse.

Kiese, s. Metalle.

Kiesel, s. Silicium.

Kimmungen, s. Luftspiegelungen.

Kitte. Der Kitte bedient man sich bei vielfachen Gelegenheiten, hauptsächlich um einen dichten Verschluß herzustellen, — sei es bei chemischen Operationen, wo man zwei oder mehrere Apparate mit einander verbindet, sei es bei Röhrenleitungen im Großen, bei physikalischen Apparaten oder endlich bei der Aufbewahrung von Substanzen — und um zwei Körperflächen mit einander dauernd zu verbinden. Die Mittel, wodurch diese verschiedenen Zwecke erreicht werden, nennt man Kitte. Es sind Substanzen oder Mischungen, die, im flüssigen oder weichen Zustande angewendet, nach kurzer Zeit erhärten oder fest werden. Einer Anforderung müssen alle diese Mittel genügen; sie müssen so beschaffen sein, daß sie sich leicht an die Oberfläche der verschiedenen Körper anlegen und sich mit dieser innig vereinigen und ihr Zusammenhang beim Festwerden muß der Art sein, daß sie der Gewalt, die sie zu trennen strebt, kräftigen Widerstand leisten. Jede An-

*) Journ. de Pharm. Jan. 1841. p. 15; auch Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXIV. S. 168.

wendung stellt weiter eigene Anforderungen, die bedingt werden durch die Beschaffenheit der Körper, bei welchen der Kitt angewendet, und durch die Einflüsse, denen der letztere ausgesetzt werden soll. Daher giebt es ein ganzes Heer von Vorschriften.

Dem Chemiker muß es Gesetz sein, jeden Kitt zu vermeiden, so lange er den Verschluß durch einen Kork herbeiführen kann. Sind die Korke von guter Beschaffenheit, verwendet man auf die Auswahl derselben und besonders auf die Anfertigung der Löcher, durch welche die Röhren geführt werden sollen, Sorgfalt, so reicht man für sehr viele Fälle mit einem Kork aus. Befolgt man die Vorsicht bei jedesmaligem Auseinandernehmen der Apparate die Korke zu lockern und sie nur ganz lose aufzusetzen, so können dieselben Korke sehr oft wieder benutzt werden. Andernfalls verlieren sie durch das starke Pressen ihre Elasticität; sie nehmen zwar die Form der Oeffnung an, in der sie stecken, aber sie schließen doch nicht so genau an und der über der Oeffnung entstandene Wulst verhindert ein weiteres Einschieben, so daß man bei dem wiederholten Gebrauch des Apparates auch fast immer für einen neuen dichten Verschluß Sorge tragen muß. In vielen Fällen jedoch kann man sich dieses einfachsten Verschlußmittels nicht bedienen. Sind die Oeffnungen von großen Dimensionen, so findet man sehr selten die entsprechenden Korke frei von Fehlern, die dem luftdichten Verschluß hinderlich sind. Oft besitzen dann auch die Oeffnungen selbst eine unregelmäßige Form, so daß man nothwendigerweise zu anderen Mitteln seine Zuflucht nehmen muß. In solchen Fällen greift man gewöhnlich zum Siegellack, der freilich bei höherer Temperatur erweicht, wodurch der Verschluß leicht undicht werden kann. Gyps und Wasser machen fast alle übrigen Mittel entbehrlich.

Bei Operationen im Großen, namentlich bei Destillationen muß man gleichfalls zu den Kitten seine Zuflucht nehmen, besonders dann, wenn während des Verlaufes derselben Undichtheiten, Risse &c. entstanden sind. Die trefflichen Kühlvorrichtungen, die jetzt allgemein im Gebrauch sind, machen den Kitt bei Destillationen aus Retorten ganz entbehrlich. Bei Benutzung der Kitte ist Hauptbedingung, daß diese nie mit Flüssigkeiten in Berührung kommen dürfen; oft schadet es auch, wenn die Kitte den Dämpfen ausgesetzt sind. So ist das Letztere namentlich bei Anfertigung des destillirten Wassers, das zu chemischen Untersuchungen dienen soll, durchaus zu vermeiden und deshalb ist hier, wie in vielen anderen Fällen, das zweckmäßigste Mittel thierische Blase, die feucht angelegt nach dem Trocknen fest sitzt.

Ferner bedient man sich hier besonders des Roggenmehles oder besser, weil billiger, des Leinsamenmehles — des Rückstandes beim Pressen des Oeles, — die mit Wasser, letzteres besser mit Kleister und etwas Leinöl zu einem steifen Brei angerührt werden. Auch des Rückstandes beim Pressen des Mandelöles bedient man sich mit Vortheil. Wirken die Dämpfe heftig ein, sind sie sauer oder stark ammoniakalisch, so verwendet man einen Oelkitt aus weißem Bolus, Kreide oder gemahlenem Thon. Gebrannter Gyps mit Wasser, oder Thon mit Glaubersalzlösung, oder gebrannter Kalk (10 Th.), Glaubersalz (4 Th.) und Wasser werden häufig in chemischen Fabriken verwendet. Bei Säuren empfiehlt man als besonders zweckmäßig 1 Th. Kautschuk in 2 Th. Leinöl bei Anwendung von Wärme aufquellen zu lassen und daraus mit weißem Bolus einen Teig zu kneten, der Jahre lang aufbewahrt werden kann, ohne auszutrocknen. Von Salpetersäure wird der

Kitt nur sehr wenig, von Salzsäure fast gar nicht angegriffen; bei höherer Temperatur erweicht er zwar, ohne aber flüssig zu werden. Bei der Bereitung von Kieselflußsäure aber kann man sich desselben nicht bedienen. Uns hat in dem angegebenen Falle Gyps und Wasser als das einfachste Mittel stets die besten Dienste geleistet.

Bei sehr hohen Temperaturen sind Gemische aus gleichen Theilen feingepulvertem und gebranntem und fettem Thon die geeignetsten Mittel, denen man Haare oder zerschnittene Hede ꝛc. beimengt, um Risse beim Trocknen zu vermeiden. Hierher rechnet man auch die Beschläge, d. h. Ueberzüge, mit denen man die Retorten versieht, wenn man Destillationen auf freiem Kohlenfeuer vornehmen will. Wegen der großen Vorzüge, die sich hier gegen die sonst gewöhnliche Benutzung des Sandbades herausstellen, scheint eine allgemeine Anwendung sehr wünschenswerth. Um diese Art der Destillation zugänglicher zu machen, hat Mohr, dessen praktisches Talent hinreichend bekannt ist, die Vorschrift zu einem Beschlage mitgetheilt, der allen Anforderungen entspricht, die man hier gewöhnlich stellt, aber von den sonst gebräuchlichen Mitteln nicht erfüllt wurden. Der Beschlag läßt sich leicht mit einem Pinsel auftragen, haftet fest am Glase und Porzellan und läßt sich mit Wasser abwaschen, ohne zu erweichen. Gleiche Volumen feines Ziegelmehl und Bleiglätte werden mit gekochtem Leinöl zu einem dicklich zähen Brei angestoßen. Hat man den Ueberzug aufgetragen, so bestreut man ihn reichlich mit grobkörnigem Sand. Er erhärtet in wenigen Tagen und wird in einem heißen Trockenofen zu einer steinharten Masse, die sich selbst mit einem Messer schwer entfernen läßt. Weder das Stehen auf dem eisernen Triangel, noch die unmittelbare Berührung der Flamme schadet einem so geschützten Glase, wenn es sonst aus guter Masse besteht. Einen noch billigeren Beschlag erhält man nach Mohr auf folgende Art. Man lösche fetten Kalk mit Wasser zu einem Brei, füge ungefähr ein gleiches Volumen weißen Bolus hinzu, verdünne mit Wasser zu einem dicklichen Brei, den man mit einem Pinsel bis zur gehörigen Dicke aufträgt. Sobald der Ueberzug trocken ist, kann das Gefäß gebraucht werden. Während der Bolus das eigentlich Haftende ist, erhärtet der Kalk durch Aufnahme von Kohlensäure. Letzterer umgiebt den Bolus und verhütet das Abwaschen. Solche Beschläge schützen nicht allein gegen die Einwirkung der Flamme, sondern mehr noch gegen rauhe Behandlung, indem sie jede äußere Gewalt schwächen und vertheilen.

Will man zwei Flächen mit einander vereinigen, so hat man hier einige allgemeine Regeln genau zu befolgen. Die Flächen, welche an einander gefügt werden sollen, müssen genau an einander passen. Daher müssen sie, falls sie bereits gekittet waren, sorgfältig von dem noch anhaftenden Kitte gereinigt werden. Der Kitt muß über die ganze Oberfläche verstrichen werden, und diese stark an einander gepreßt und unveränderlich in dieser Stellung erhalten werden, bis der Kitt erhärtet ist. Durch das Zusammenpressen wird eine große Menge des überflüssigen Kittes entfernt, so daß nur eine dünne Lage davon zurückbleibt. Je dünner diese ist, um so gleichmäßiger trocknet und haftet sie. Das feste Zusammenhalten hängt hauptsächlich ab von der Größe der Fläche, mit welcher der Kitt in Berührung steht. Oft kann man die Festigkeit noch dadurch vermehren, namentlich da, wo der Kitt von der zu verbindenden Masse eingesogen wird, daß man ein feines Gewebe oder feines ungeleimtes Papier zwischen die zu kittenden Flächen

bringt, einzig aus dem Grunde, daß sie den Kitt in sich aufnehmen und so eine hinreichend große Berührungsfläche herstellen.

Der Vorschriften zu solchen Mischungen giebt es sehr viele und wir verweisen deswegen auf die zahlreichen Bände des polytechnischen Journales von Dingler. Alle hier aufzuzählen ist unnöthig, da sehr häufig die Vorschriften ganz dieselben Substanzen enthalten und nur die Gewichtsverhältnisse verschieden sind. Ueberblicken wir die große Zahl dieser Vorschriften, um eine Uebersichtlichkeit in dieses Chaos zu bringen, so können wir bei dieser Ordnung zwei Wege einschlagen. Entweder können wir sie ordnen nach der Art der Verwendung, also Kitte für Papier, Holz, Glas, Porzellan, Metalle 2c. und da würden der Abtheilungen ziemlich viele werden, oder, wie es Varrentrapp gethan hat, nach den Substanzen, die einer großen Reihe von Mischungen dieser Art gemeinschaftlich angehören. Aus diesem Gesichtspunkte die Kitte betrachtet, können wir sie in vier große Gruppen theilen: in Leim-, Kalk-, Oel- und Harzkitte.

Die erste Gruppe der Kitte wird durch solche Substanzen gebildet, welche sich entweder in Wasser auflösen oder darin zu einer klebenden Masse aufquellen. Bei dem Gebrauch verdunstet das Wasser und die darin gelöste Substanz bleibt im festen Zustande zurück, wodurch die gewünschte Bindung erreicht wird. Als Grundlage dieser Kitte dient Gummi, Stärke oder Leim. Das erstere ist trotz seinem theuern Preise doch nicht das vorzüglichste Bindemittel. Erhebliche Nachtheile sind hier, daß die Lösungen beim Aufbewahren ziemlich leicht verderben, obschon hier ein Zusatz von Weingeist das Schimmeln einigermaßen aufhält; daß sie beim Trocknen sich stark zusammenziehen, daher von der Oberfläche sich losreißen und nur eine schlechte Bindung bewirken und dann, daß sie der auflösenden Kraft des Wassers einen so geringen Widerstand entgegenstellen. Mehr im Gebrauch ist daher der Kleister aus Stärke oder Mehl. Namentlich Roggenmehl, wegen des darin enthaltenen Klebers bindet stärker, freilich besitzt dieser Kleister dafür auch eine mehr graue Farbe, die seiner Anwendung mitunter im Wege steht; auch ist er in der Wärme leichter dem Verderben ausgesetzt als der Stärkekleister. Ein Zusatz von Alaun schützt bei ersterem nicht vollständig, besser bei letzterem. Stärker bindend macht man den Kleister durch Zusatz des halben Gewichtes der Stärke an Terpentin, den man dem heißen Kleister zusetzt und durch tüchtiges Umrühren damit mischt, oder durch Anrühren mit sehr verdünnter Leimlösung. Mit einer Mischung aus Leim und Mehl klebt man einzelne Bogen Papier zu ganzen Lagen zusammen, die dann gehobelt, gesägt, genagelt 2c. werden können. Man verfertigt daraus verschiedene Gegenstände, die Berühmtheit erlangt haben, weil sie leichter und lackirt weit dauerhafter als ähnliche Arten aus Holz sind. Auch eine Mischung von Mehl und Eiweiß dient zum Kitten.

Der genannten Mittel bedient man sich vorzüglich bei den verschiedenen Papieren, beim Holz wendet man hauptsächlich Leim an. Ein guter Leim darf im trockenen Zustande nicht besonders Feuchtigkeit aus der Luft anziehen; in kaltem Wasser muß er viel davon in sich aufnehmen, daher zwar stark aufquellen, aber durchaus nicht aus einander gehen, sich zertheilen oder gar in beträchtlicher Menge auflösen. Ein guter Leim nimmt nach Varrentrapp oft in 24 Stunden das 7 bis 8fache seines Gewichtes Wasser auf, ohne dadurch seinen Zusammenhang zu verlieren. Ein Hauptübelstand beim Leime ist der, daß er beim Erkalten gelatinirt und in diesem Zustande nicht als Bindemittel benutzt werden kann. Um

das lästige Erwärmen zu vermeiden, hat Dumoulins eine Vorschrift gegeben zur Bereitung eines Leimes, der stets flüssig bleibt. Man überschüttet 10 Th. guten Leim mit einem gleichen Gewicht kalten Wassers und läßt das Ganze etwa 12 Stunden stehen, bis sich der Leim in eine Gallerte verwandelt hat, die man im Wasserbade erwärmt. Man setzt nun nach und nach unter Umrühren 2 Th. Salpetersäure von 36° Baumé hinzu. Böttger sagt von diesem flüssigen Leim, daß er nach einem Jahre weder schimmelte, noch an Bindekraft verloren hatte. Er empfiehlt ihn als Lutum und Klebmittel und selbst zur Befestigung von Tapeten ꝛc. Schon früher hat Kühne eine Vorschrift zu einem Leime gegeben, der gleichfalls kalt zur Anwendung kommt. Mit einem Theil eines Gemisches aus 12 Loth Kornbranntwein und 12 Loth Wasser rührt man 4 Loth Stärke und 6 Loth Schlämmkreide zu einem dicken Brei an; dann löst man 2 Loth guten Leim in Wasser, rührt 2 Loth dicken Terpentin hinein und setzt nun den Rest des obigen Gemisches aus Kornbranntwein und Wasser hinzu. Zuletzt mischt man beide Mischungen in der Wärme zusammen. Dieser sehr billige Kitt wird von dem Verein zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen besonders empfohlen.

Um auch den erkalteten Leim leichter auflöslich zu machen, setzt man der Auflösung ein dem dazu verwendeten Leim gleiches Gewicht Zucker zu. Ein solches Gemisch ist der Mundleim, zu dem man die reinsten Leimsorten benutzt. Ein einfaches Befeuchten reicht aus, um ihn klebend zu machen. Der Zusatz von Zucker giebt dem Leim noch eine andere schätzbare Eigenschaft, eine bedeutende Elasticität, wodurch er zu verschiedenen Anwendungen geschickt wird. So verfertigen die Buchdrucker aus einer Mischung von Leim und Syrup die Walzen, mit denen sie die Farbe auf die Lettern auftragen. Da der Syrup eine bedeutende Menge Wasser enthält, so muß dies bei der Leimlösung in Abzug gebracht werden, d. h. diese muß ziemlich concentrirt angefertigt werden. Bestimmte Vorschriften lassen sich hier nicht geben, da die Verhältnisse von zu vielen veränderlichen Umständen abhängen. Nicht allein die Materialien der Mischung, sondern auch die Beschaffenheit der Farbe, ob diese mehr oder minder zähe und dann ganz besonders das Local, in welchem gearbeitet wird, je nach seiner mehr oder minder bedeutenden Feuchtigkeit, üben darauf einen bedeutenden Einfluß und daher sind die Verhältnisse dieses Gemisches sehr schwankend. Während in einer Werkstatt gleiche Gewichte von Leim und Syrup eine brauchbare Mischung geben, muß man in einer anderen das Gewicht des Syrups vermehren, selbst bis aufs Dreifache.

Die bekannten kleinen Gesichtsmasken und Thierchen, welche, wenn man sie drückt, so wunderliche Grimassen machen, sind aus einer ähnlichen Masse angefertigt und nicht wie man gewöhnlich glaubt, aus Gutta-Percha.

Soll der Leim der Einwirkung der Feuchtigkeit mehr Widerstand leisten, so setzt man $^1/_8$ — $^1/_6$ seines Volumens Terpentinöl hinzu. Eine solche Mischung eignet sich besonders um Glas auf Holz oder Metalle zu befestigen. Ganz besonders ist hier eine von Dove angegebene Mischung zu empfehlen, die sich bei den damit angestellten Proben sehr bewährt hat. Der concentrirten Auflösung von 8 Loth Leim setzt man $4^1/_2$ Loth Leinölfirniß zu und kocht das Gemisch noch 2 bis 3 Minuten unter fortwährendem Umrühren. Ein Gefäß, welches damit wasserdicht gemacht worden war, ließ selbst das Wasser nicht durch, nachdem es vier Wochen für sich der Wärme ausgesetzt worden, wodurch die Reife sehr locker wurden und der Boden anfing, in der einen Fuge auswendig sich aus einander zu

spalten. Dasselbe Experiment von weiteren vier Wochen übte gleichfalls keine nachtheilige Wirkung auf die Haltbarkeit des Kittes aus. Mit der noch heißen Mischung leimt man die Dauben der Gefäße zusammen, die man vor dem Zerlechzen schützen will.

Kommt es darauf an, daß die Farbe des Leimes heller sei oder soll dieser noch mehr bindend sein, so bedient man sich der Hausenblase, die sich besser in schwachem Branntwein auflöst als in Wasser. Namentlich zum Kitten von zerbrochenen Glas- und Porzellanwaaren wird Hausenblase viel gebraucht. Folgende Mischung, die unter dem Namen Diamantleim bekannt ist, weil im Orient die Edelsteine dadurch befestigt werden, leistet hier sehr gute Dienste. 4 Theile Hausenblase, die vorher tüchtig geklopft und in feine Stücke geschnitten worden ist, läßt man in schwachem Spiritus aufquellen, dann thut man diese Lösung unter fortwährendem Rühren in einer Reibschale nach und nach zu 1/2 Th. Gummi Galbanum und 1/2 Th. Gummi Ammonikum, die damit ganz fein gerieben werden. Vorher hat man 2 Th. Mastix in sehr wenig Spiritus gelöst, welche Lösung dann mit der vorigen gemischt und Alles gut unter einander gerührt wird. Um diesen Kitt vor dem Verderben zu schützen, bewahrt man ihn in einem weithalsigen Glase auf. Nach dem Erkalten erstarrt der Kitt, es genügt aber warmes Wasser, in welches man das Glas stellt, um ihn wieder flüssig und zum Gebrauch geschickt zu machen. Sachen, die mit Diamantleim gekittet sind, können selbst in warmem Wasser abgewaschen werden, freilich zu lange dürfen sie darin nicht verweilen.

Häufig bedient man sich des Leimes auch um Spalten und Risse auszufüllen. Da muß er aber, wie man sich ausdrückt, mehr Körper haben und dies erreicht man durch Zumischen von feinzertheilten festen Körpern, wie Kreide, Gyps, Kalk, Sägespänen 2c. Aus solchen Mischungen fertigt man auch verschiedene Verzierungen, so wie alle die kleinen Figuren an. Oder man tränkt auch Werg mit einer Leimlösung, der man Leinölfirniß oder Terpentin zugesetzt hat.

Aus der zweiten Gruppe, den Kalkkitten, findet der gewöhnliche Kalkmörtel (vergl. Bd. I. S. 920), der ja eben als Bindemittel für die Steine und zum Dichten der Fugen dient, die allgemeinste Verwendung. Eine größere Festigkeit erreicht man durch den hydraulischen Kalk (Wassermörtel, vergl. Bd. I. S. 920). Die Vorzüge der Cemente finden täglich mehr Anerkennung und Verwendung. Man benutzt sie zum Trockenlegen von nassen Wänden und Fußböden, zum Bauen und Dichten der Tröge oder sonstiger Wasserbehälter, wie z. B. Bassins, bei Abtritten, Kanalbauten, kurz überall, wo Undurchdringlichkeit für Wasser erforderlich ist.

Bei Fügung der Tafeln, zur Dielung der Wohnzimmer bedient man sich häufig statt des Leimes einer Mischung aus Käse oder Quark mit Kalk, die ungeachtet der öfteren Reinigung der Zimmer selbst mit heißem Wasser, weit fester hält als der gewöhnliche Leim. Nimmt man hierzu alten Käse, so weicht man ihn erst in heißem Wasser auf. Oft werden auch Zuschläge von feinem Sand oder Ziegelmehl beliebt. Da diese Massen bald erhärten, so darf man sie nur in kleinen Mengen anfertigen und muß sie bald verarbeiten. Diese Kitte sind sehr gut bei zerbrochenen Glas- und Porzellangeräthen zu verwenden. Zu gleichem Zwecke dient eine Mischung von Kalk und Eiweiß oder Leimwasser. Das Eiweiß kann auch durch frisches Blutwasser ersetzt werden, das ja gleichfalls eiweißhaltig ist. Häufig verstreicht man bei Bauten die Fugen zwischen Steinen und Holzwerk vor

dem Farbenanstrich mit einer Mischung aus Kalk, Ziegelmehl, Steinkohlenmasse, Hammerschlag, Sand und Blutwasser.

Eines Kalkkittes, bestehend aus einem Theil gelöschten Kalk und drei Theilen gepulvertem Marmor mit Wasser und Eiweiß zusammengerieben, bedienten sich auch die alten Römer bei der Anfertigung der Mosaikgemälde, um die verschieden gefärbten Glaspasten unter einander zu verbinden. Der Kitt erhärtet aber so schnell, daß der Arbeiter kaum Zeit hat, die Glaspasten einzudrücken; durch Feuchtigkeit verdirbt er sehr schnell und daher hat man ihn in neuerer Zeit durch einen Oelkitt ersetzt. Die Verhältnisse sind dieselben, nur nimmt man statt des Marmors Travertino — Kalktuff neuerer Bildung: — als Bindemittel dient Leinöl. Die Masse bleibt etwa drei Wochen bildsam. Dieser moderne Kitt ist gelb, der antike aber weiß; darin hat man also ein Mittel die antiken Mosaikarbeiten von denen der Neuzeit zu unterscheiden.

Kommt es bei dem Kitt auf keinen festen Zusammenhang an, so ist der gebrannte Gyps wegen seiner Eigenschaft Wasser in sich aufzunehmen und dadurch zu erhärten in vielen Fällen mit Nutzen anzuwenden. Der Brei muß so dünn angerührt werden, daß er sich gießen läßt; in diesem Zustande dringt er leicht in alle Vertiefungen. Um das Entstehen von Rissen beim Trocknen zu verhindern, dient ein Zusatz von pulverförmigen Substanzen (Torfasche, Sand rc.). Mehr Zusammenhang erzielt man, wenn man statt des Wassers zum Anmachen Lösungen von Alaun, schwefelsaurem oder weinsaurem Kali verwendet, besonders aber, wenn man den gebrannten Gyps in Stücken mit Alaunlösung tränkt und ihn nach dem Trocknen abermals brennt. Ein solcher Kitt wird so hart wie Stein; je größer aber der Zusammenhang ist, um so weniger schnell tritt das Erhärten ein. Soll die Kittung eine höhere Temperatur erhalten, so rührt man den Gyps mit Eiweiß an, wodurch man gleichfalls mehr Festigkeit erzielt.

Die zahlreichsten Recepte liefert die dritte Gruppe, deren gemeinschaftliches Bindemittel trocknende Oele (Lein-, Hanf- oder Mohnöl) oder Firnisse abgeben. Die Grundlagen dieser Kitte sind minder mannichfaltig, nur die Gewichtsverhältnisse, in denen die verschiedenen Bestandtheile gemischt werden, machen die Zahl so außerordentlich groß. Je nach den Zwecken, zu denen man diese Kitte verwendet, nennt man sie auch Stein- oder Metallkitte. Als Körper dienen hier hauptsächlich Bleipräparate (Bleiglätte, Mennige, Bleiweiß). Da solche aber theuer sind, so sucht man die Gewichtsmenge zu verringern und bedient sich dann anderer pulverförmiger Körper, wie Sand, Glaspulver, Ziegelmehl, Kreide, Kalk, Gyps, Braunstein, Pfeifenthon, um die Masse zu vermehren. Aus demselben Grunde ist auch hier das Zinkoxyd als Rival gegen die Bleiverbindungen aufgetreten, weil ein gleiches Gewicht ein ungleich größeres Volumen einnimmt. Man hat hier zugleich den Vortheil eines schnelleren Trocknens und überall da, wo der Kitt nicht einer Hitze von über 80° R. ausgesetzt ist, kann man statt des Oeles Wasser nehmen. Im letzteren Falle müssen die zu verkittenden Stücke sogleich vereinigt werden, weil der Wasserkitt außerordentlich schnell erhärtet. In der Regel nimmt man ein Viertel des Gewichtes des flüssigen Bindemittels an Bleipräparaten, bei großen Mengen, wenn gerade nicht eine besondere Festigkeit gefordert wird, noch weniger und giebt der Masse die gehörige Consistenz durch die aufgeführten billigeren Zuschläge. In Bezug auf das Festwerden haben die genannten Bleiverbindungen nicht gleichen Werth; Bleiweiß bewirkt das Trocknen

nur sehr langsam, Mennige am schnellsten und besser noch, wenn die Mischung von den Zusätzen enthält. Handelt es sich um Hervorbringung eines dampfdichten Verschlusses, so kommt man statt der Bleipräparate mit Mehl und Kreide eben so gut zum Ziele.

Im Allgemeinen kann man die Oelkitte längere Zeit unter Wasser aufbewahren, wodurch sie vor dem Austrocknen geschützt werden. Mit der Zeit tritt aber doch eine gewisse Härte ein, die dadurch beseitigt wird, daß man die Masse noch einmal anstößt und dabei etwas Oel hinzu thut.

Die Oelkitte kommen hauptsächlich in Anwendung, um Dichtungen bei mancherlei technischen Maschinen und Einrichtungen, wie Röhrenleitungen ꝛc. herzustellen. Aber auch hier sucht man jetzt schon die Schmiererei, wo es sich thun läßt, ganz zu vermeiden. In einigen Fällen stellt man einen dampfdichten Verschluß ohne alle Zwischenmittel durch zwei gerade oder konisch abgedrehte und auf einander geschliffene Flächen, die durch Schrauben zusammengehalten werden, her. In anderen reicht das Zwischenlegen elastischer Körper, namentlich Scheiben von Leder, Pappe, geschwefeltem Kautschuk aus für einen dampf- und wasserdichten Verschluß. Leder wird jedoch in der Hitze leicht hart und dadurch unbrauchbar. Vorzüglich bei Röhren oder Cylindern legt man auf die zusammenstoßenden, genau abgeschliffenen Flächen einige Windungen Kupferdraht und verschraubt dann auf gewöhnliche Art. Dieses System der Dichtung hat sich in der Praxis schon Beifall erworben.

Besondere Erwähnung verdient noch ein Steinkitt, der in der Technik den Namen Mastix oder Mastixcement führt. Die Composition desselben wird verschieden angegeben. Paget empfiehlt folgende: 31½ Pfund feiner Sand, 10½ Pfd. Schlemmkreide, 2½ Pfd. Bleiweiß und 1 Pfd. Mennige werden mit Bleizuckerlösung befeuchtet und mit 3 Pfd. Oel oder Firniß zu einer Masse verarbeitet. Nach Varrentrapp ist die Zusammensetzung folgende: 35 Th. Sand, 62 Th. Kalkpulver, 3 Th. Bleiglätte und 7 bis 10 Th. Leinölfirniß. Diese Mischungen erlangen in kurzer Zeit, nach einigen Wochen, eine solche Härte, daß sie am Stahle Funken geben. Sie können dazu dienen bei behauenen Steinen beschädigte oder fehlende Theile zu ergänzen. Doch müssen die Flächen, auf welche man den Kitt aufträgt, vorher abgetrocknet und eingeölt werden. Man vereinigt damit Steinplatten zu Wasserbehältern; auch dient er als Vereinigungsmittel von Steinplatten, mit denen man Terrassen oder frei liegende Treppen belegt. Unter diesen Umständen thut man gut die Menge der Bleiglätte bis zum Vierfachen zu vermehren.

Aber nicht allein als Kitt ist der Mastix im Gebrauch, sondern man fertigt daraus Abdrücke und formt allerlei Gegenstände, wie Statuen, Basreliefs, Karnieße, Capitäler, überhaupt Verzierungen der mannigfaltigsten Art, wobei man der Masse auch allerlei Farben zusetzt, deren Verhalten man freilich genau kennen muß, indem danach Abänderungen der Grundmasse vorzunehmen sind.

Mohr empfiehlt eine Mischung aus gleichen Volumen Bleiweiß und Kreide oder Gyps, die zum feinsten Pulver gerieben und mit gekochtem Leinöl vereinigt werden, als einen ganz besonders brauchbaren Kitt, der sich bewährte, wo alle übrigen nicht dem Zwecke entsprachen. Die gekitteten Gegenstände klingen wie aus einem Stück bestehend. Je reiner die Bruchflächen und je dünner die Kitt-

schicht, desto besser ist das Zusammenhalten. Dies ist übrigens eine Regel von allgemeiner Geltung.

Die Harzkitte theilen mit den Oelkitten die Eigenschaft, dem Wasser vollständig zu widerstehen; der Vortheil des schnelleren Festwerdens, den sie vor letzteren voraushaben, wird durch andere Nachtheile wieder aufgehoben. So ist ihr Gebrauch nur erlaubt bei Gegenständen, die keiner hohen Temperatur ausgesetzt werden, dann werden sie sehr leicht rissig und theils durch das Verdampfen oder Verharzen des in ihnen enthaltenen ätherischen Oeles so spröde, daß sie selbst nicht die geringste Reibung oder Stoß aushalten. Dies gilt jedoch weniger von dem Kitten zerbrochener Gegenstände, als von den Dichtungen, wo der Kitt in größerer Menge verwendet wird. Zu ersterem Zweck benutzt man die Harze, namentlich die farblosen sehr viel. Um ihnen die Sprödigkeit zu nehmen, schmilzt man sie mit Terpentin, Wachs, Talg, am besten mit wenig Leinölfirniß zusammen. Am meisten im Gebrauch ist der Schellack, der jedoch nicht frei ist von ziemlich bedeutenden Mängeln. Dahin sind zu rechnen die große Sprödigkeit und das starke Zusammenziehen beim Erkalten. Dem ersteren Uebelstande kann man freilich durch die eben genannten Mittel abhelfen, aber die Schmelzung erfordert große Vorsicht. Die Temperatur muß hierbei ziemlich hoch sein und wird sie überschritten, so ist die Mischung nicht zu brauchen. Gegen das zweite ist ein Zusatz feiner Pulver sehr gut und daher guter Siegellack besser.

Lösungen der Harze in Alkohol sind ganz zu verwerfen, weil von dem Alkohol zu wenig gelöst wird und nach dem Verflüchtigen desselben der Kitt zu spröde ist. Schellacklösung allein macht hier eine Ausnahme; die Festigkeit soll bedeutend erhöht werden, namentlich bei Holz, wenn man zwischen die zu verbindenden Flächen ein Stück Flor oder dünnes Seidenzeug bringt. Ein ungleich besseres Lösungsmittel ist der Schwefelkohlenstoff, der von vielen Harzen (Mastix, Gummilack, geschmolzenem Bernstein) sein gleiches Gewicht aufnimmt, schnell verdampft und die Harze unverändert zurückläßt. Seiner allgemeinen Verwendung stand bislang der hohe Preis entgegen; doch jetzt ist dieser ein solcher, daß er in vielen Fällen den Gebrauch des Schellacks in der Technik wohl zuläßt. Bei besonderen Zwecken — zum Ausfüllen hohler Zähne — bedient man sich des Aethers als Lösungsmittel (für Mastix, Sandarak). Man tränkt mit dem Kitt lose Baumwolle und füllt so die hohlen Räume aus, wobei das Lösungsmittel sehr schnell verdampft.

Vielfältig sind die Harze im Gebrauch, um bei Flaschen oder anderen Geräthen, die zur Aufbewahrung von Flüssigkeiten, naturhistorischen Gegenständen 2c. dienen, und keinen großen Widerstand zu leisten haben, einen dichten Verschluß herzustellen. Durch die angegebenen Mittel wird die Sprödigkeit gemildert und der Masse durch Beimischen pulverförmiger, gefärbter Körper auf leichte Art jede gewünschte Farbe ertheilt. Beim Zusammenschmelzen, besonders über Flammfeuer, ist große Vorsicht anzurathen, da das Gemenge leicht in Brand gerathen kann. Die Gefäße müssen entweder so beschaffen sein, daß man sie schnell, ohne sich zu beschädigen, vom Feuer entfernen kann, oder man muß einen genau schließenden Deckel zur Hand haben, um durch Auflegen desselben den Brand sogleich ersticken zu können. Zu diesen Zwecken dienen die billigeren Harze — das gewöhnliche weiße Harz, Galipot, Kolophonium, Schiffspech, Asphalt, — so wie überall da, wo Harzkitte in größeren Mengen verbraucht werden, wie z. B. beim Dichten der

Fugen von Wasserbehältern, Terrassen &c. Um hier das Springen und Reißen zu verhindern und auch um die Masse zu vermehren, macht man in diesen Fällen Zusätze von Kalk, Gyps, Ziegelmehl, Sand. Statt der Harze nimmt man auch wohl Theer, sei es Steinkohlen- oder Holztheer, auch wohl ein Gemisch beider, die mit gelöschtem Kalk bis zur hinreichenden Dicke gekocht werden. Durch einen Zusatz von $1/_8$ des Gewichtes Schwefel ertheilt man der Masse eine ungemeine Festigkeit, deren Sprödigkeit aber durch $1/_{16}$ oder $1/_{32}$ Leinölfirniß gemildert werden muß. Der Schwefelzusatz macht den Harzkitt selbst brauchbar für die Wiederherstellung zerbrochener Steingut- und Porcellangefäße.

Einen vortrefflichen Kitt liefert eine Auflösung von Kautschuk in Harz-, Steinkohlen- oder Steinöl, der man, wenn der Kitt fest sein soll, das Doppelte an Asphalt oder Gummilack, oder beiden zugleich zusetzt. Mitunter kann der Gummilack auch durch Asphalt, Pech, Harz ersetzt werden. Das Flüssigmachen des festen Kittes hat große Schwierigkeiten, aus demselben Grunde wie beim Schellack. Man erhitzt daher zuerst im Wasserbade; ist die Masse hier gehörig erweicht, so kann man auf freiem Feuer das Schmelzen beenden, ohne ein Verbrennen befürchten zu müssen. Hier sind die oben angedeuteten Vorsichtsmaßregeln gleichfalls nicht zu verabsäumen. Der Kitt muß dünnflüssig werden, weil er sonst nicht gehörig eindringt und festhält. Er haftet auf Glas, Schiefer, Holz und Metall und leistet vortreffliche Dienste beim Schiffbau. Er dient ferner dazu, um Gewebe, die der Einwirkung des Wassers ausgesetzt sind, auf- und aneinander, so wie Leder auf Leder, Holz oder Metall &c. zu befestigen. Seiner vielen vortrefflichen Eigenschaften wegen machte er bei seinem ersten Auftreten unter dem Namen Jeffery's Marineleim großes Aufsehen.

Bei der Vereinigung oder Dichtung gewisser Substanzen kommen eigene Mittel in Anwendung. So z. B. beim Eisen. Hensinger empfiehlt folgende Mischung für das Zusammenkitten von Eisen sowohl im Feuer als auch im Freien. 100 Th. rostfreie Eisenfeile, Bohr- oder Drehspäne und 1 Th. Salmiakpulver werden mit Urin angefeuchtet. Das Gemenge bringt man in die Fugen und stemmt es mit Hammer und Meißel so fest als möglich ein, wobei der Kitt ganz weich wird. Die Eisentheilchen fangen aber sehr bald zu rosten an und dadurch wird die Masse, die sich an die Eisenflächen ungemein fest ansetzt, hart wie Stein. Die Flächen müssen aber durchaus frei von Rost sein. Die geringste Spur von Fett ist gleichfalls zu vermeiden. Man kann diesen Kitt in einem eisernen Topf, fest eingestampft, unter Wasser lange aufbewahren. Beim Gebrauch setzt man so viel Eisenfeilspäne zu, bis die Masse die geeignete Consistenz besitzt. Nach einer Mittheilung des Hannöverschen Gewerbevereines bewährt sich folgende Vorschrift sehr gut. Man hält ein Gemenge von 16 Th. Eisenfeilspänen, 2 Th. Salmiak und 1 Th. Schwefelblumen vorräthig. Beim Gebrauch vermengt man 1 Th. desselben mit 20 Th. Eisenfeilspänen und befeuchtet das Ganze mit $7/_8$ Th. Wasser und $1/_8$ Th. Essig. Die Eisenkitte benutzt man hauptsächlich zum Befestigen der Boden von Dampfcylindern bei stehenden Maschinen; zum Dichten der Verbindungen und Fugen von gußeisernen Dampf- und Wasserleitungen, von eisernen Wasserreservoirs &c. Sollen die gekitteten Theile Glühhitze aushalten, so mischt man 4 Th. Feilspäne mit 2 Th. Thon und 1 Th. gepulverten Porcellankapseln und stößt das Ganze mit Salzwasser zu einem Teige an, der gleichfalls in die Fugen eingepreßt wird.

Will man Eisen dauerhaft in Stein einkitten, so mengt man 7 Th. Gyps,

1 Th. Eisenfeilspäne bei und stellt mit Wasser die steife Masse her. Die Arbeit muß aber sehr schnell von der Hand gehen, weil dieser Kitt äußerst schnell erhärtet. Bei weißen Steinen muß man die Feilspäne fortlassen, weil sie rosten und dann die reine Farbe des Steines verunziert wird. Man nimmt dann zum Anmachen des Gypses 3 Th. Eiweiß und 1 Th. Wasser, welche Mischung freilich nur sehr langsam ganz erhärtet. Kitte zu gleichem Zweck, die man gewöhnlich auch Rostkitte nennt, bereitet man auch aus Feilspänen und Essig oder verdünnter Schwefelsäure; man setzt auch Eisenvitriol hinzu. In gleichem Maße sind sie auch geeignet Steine mit einander zu verbinden. Beim Zusammenfügen von Ofenplatten macht man noch Zusätze von Torfasche, Thon, Gyps, Salz. Diese Gemenge geben aber zu Auswitterungen Veranlassung, wodurch der Graphitüberzug zerstört wird. Mehr zweckentsprechend sind hier fetter Thon mit der Hälfte gebranntem und fein gepulvertem Thon gemischt. Ein sehr dünnes Auftragen erhöht auch hier die Festigkeit ungemein.

Pettenkofer empfiehlt *) Kupferamalgam als luftdichtes Verschließungsmittel, in Fällen, wo man bei Maschinerien und chemischen Apparaten Kork, Glas, Kautschuk, Kitt ꝛc. nicht gut gebrauchen kann. Trotz der vortrefflichen Eigenschaften des Amalgames wird die Verwendung des hohen Preises wegen doch nur eine sehr beschränkte sein können, wenn schon man sich dasselbe selbst wird billiger herstellen können, als es im Handel zu haben ist. In Paris kosten 4 bis 5 Grm. 2 Francs. Liebig's Vorschrift für die Bereitung dieses Amalgames ist weniger umständlich, als die von Pettenkofer angegebene. Man benetzt fein zertheiltes, durch Eisen aus Kupfervitriollösung niedergeschlagenes Kupfer in einem Porcellanmörser mit salpetersaurem Quecksilberoxydul, gießt dann kochendes Wasser darüber, setzt metallisches Quecksilber hinzu, und reibt das Ganze anhaltend zusammen. Im Anfang ist die Masse bröcklich, sie wird aber bald weich und nimmt, wenn die gehörige Menge Quecksilber incorporirt ist, die gewünschte salbenartige Consistenz an. Je nach dem Gehalt an Quecksilber erhärtet es früher oder später und zwar erfordert dieser Vorgang beim ersten Male viel mehr Zeit, als wenn es nach dem Erhärten wiederum durch Kneten erweicht worden ist. W. B.

Klang, s. Schall.

Klangfiguren, s. Schall.

Kleist'sche Flasche, s. Flasche, elektrische.

Klima (lat. clima; franz. climat; engl. climate; von dem griech. κλίνω, ich neige). Die Länge des Tages ist bekanntlich unter den verschiedenen Parallelkreisen verschieden und die Temperatur nimmt von dem Aequator nach den Polen zu ab; beide, Temperatur und Tageslänge, leiteten die älteren Geographen **) von der Neigung der Oberfläche der Erde gegen die Sonne ab und unterschieden so zwischen Aequator und Polarkreis 24 durch Tageslänge und mittlere Temperatur von einander abweichende Klimata. Hiernach sind die Klimata Erdgürtel.

Als erstes Klima nahmen sie das des Aequators an, wo der Tag das ganze Jahr hindurch 12 Stunden beträgt. Jedes folgende Klima beginnt da, wo der

*) Liebig's Ann. Bd. LXX. S. 344.
**) Ptolemaeus, Geogr. lib. I. cap. 8.

längste Tag des Jahres um $1/2$ Stunde länger wird. Am Polarkreise beträgt der längste Tag 24 Stunden, woraus sich dann bis zu diesem Kreise vom Aequator ab die Anzahl von 24 Klimaten ergiebt. Bekanntlich nimmt zwischen dem Polarkreise und dem Pole die Länge des Tages sehr schnell zu. Einen Grad über den Polarkreis hinaus beträgt die Länge des längsten Tages schon 1 Monat und unterhalb des Poles selbst 6 Monate. Deshalb haben spätere Geographen noch 6 Klimata in dem Raume zwischen dem Polarkreise und dem Pole unterschieden, deren längste Tage nach dem Pole hin um 1 Monat zunehmen. Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der 30 Klimata zwischen dem Aequator und dem Pole zugleich nach Berghaus *) mit Angabe eines Ortes der alten Welt, welcher unter oder doch in der Nähe des jedem Klima correspondirenden Breitenkreises liegt.

Tafel der Klimata **).

Klimata	Längster Tag	Ort	Geograph. Breite	Breite der Klimata
a) 0	12 h	Aequator	0°	
1	12,5	Sierra Leone, W. Küste von Afrika	8,6	8,6°
2	13	Masulipatam, Indien	16,7	8,1
3	13,5	Indus-Mündung, Indien	24,5	7,8
4	14	Nil-Delta, Afrika	30,8	6,3
5	14,5	Insel Malta, Mittelländisches Meer	36,5	5,7
6	15	Rom, Italien	41,4	4,9
7	15,5	Mailand u. Venedig, Italien	45,5	4,1
8	16	Regensburg, Deutschland	49,0	3,5
9	16,5	Magdeburg, Deutschland	52,0	3,0
10	17	Insel Rügen, Ostsee	54,5	2,5
11	17,5	Riga, Rußland	56,6	2,1
12	18	Nordspitze von Schottland	58,5	1,9
13	18,5	St. Petersburg, Rußland	60,0	1,5
14	19	Suderöe, südlichste Insel der Faröer	61,3	1,3
15	19,5	Dovrefjeld, Norwegen	62,4	1,1
16	20	Drontheim, Norwegen	63,4	1,0
17	20,5	Kajaneborg, Finnland	64,2	0,8
18	21	Archangel, Rußland	64,8	0,6
19	21,5	Mittler Parallel des Weißen Meeres	65,4	0,6
20	22	Torneå, Lappland	65,8	0,4
21	22,5		66,1	0,3
22	23	Lappland	66,3	0,2
23	23,5		66,4	0,1
24	24	Nördl. Polarkreis, N. Spitze v. Island	66,5	0,1
b) 1	1 Monat	Südlichste Insel d. Loffoden, Norwegen	67,5	1,0
2	2 "	Nördlichste Insel derselben	69,5	2,0
3	3 "	Matatschkin Schar, Nowaja Semlja	73,3	3,8
4	4 "	Mitte von Spitzbergen	78,3	5,0
5	5 "	Eismeer, nördlich von Spitzbergen	84,0	5,7
6	6 "	Nordpol	90,0	6,0

*) Allgemeine Länder- und Völkerkunde. Stuttgart 1837. Bd. I. S. 103.
**) Auf die Wirkung der Strahlenbrechung ist in dieser Tafel keine Rücksicht genommen.

Da diese Eintheilung ganz mathematisch ist, so paßt sie auch nicht auf das, was wir jetzt unter dem Begriffe Klima verstehen. Unter dem wirklichen oder physischen Klima im Gegensatze zu dem mathematischen oder solaren verstehen wir die natürliche, durch Lage, Boden, Wärme, Witterung rc. bedingte Beschaffenheit eines Landes, oder nach A. v. Humboldt's *) schärferer Bestimmung umfaßt das Wort Klima, in seiner allgemeinsten Bedeutung, alle die Modificationen der Atmosphäre, von denen unsere Organe auf eine merkliche Weise berührt werden, als da sind: die Temperatur, die Feuchtigkeit, die Veränderungen des barometrischen Druckes, der ruhige Zustand der Luft, oder die Wirkungen ungleichnamiger Winde, die Ladung, d. i. die Quantität elektrischer Tension, die Reinheit der Atmosphäre oder ihre Vermengung mit mehr oder minder ungesunden Gasausströmungen, endlich der Grad gewöhnlicher Durchsichtigkeit, jene Reinheit des Himmels, so wichtig durch den Einfluß, den sie nicht allein auf die Strahlung des Bodens, auf die Entwickelung der organischen Gewebe der Pflanzen und die Zeitigung der Früchte, sondern auch durch die Gesammtheit der moralischen Eindrücke, welche der Mensch in den verschiedenen Zonen empfindet, ausübt.

Das mathematische Klima würde zugleich das physische sein, wenn die Erdoberfläche durchweg von derselben Beschaffenheit und frei von Erhöhungen und Vertiefungen wäre, wie bereits in dem Art. Isothermen hervorgehoben worden ist. Da dies nicht der Fall ist, so können Orte, welche dasselbe mathematische Klima haben, ein durchaus verschiedenes physisches besitzen, wie denn, um hier nur ein Beispiel anzuführen, die westlichen Gegenden von Europa ungleich mildere Temperatur haben, als die unter demselben Parallelkreise liegenden Gegenden des östlichen Amerika.

Die einzelnen Aeußerungen des Klimas: die Temperatur (s. Artikel Isothermen), Regen, Winde rc. werden unter einzelnen Artikeln abgehandelt. Hier wird von den Ursachen der klimatischen Verschiedenheiten und deren Einflüssen zu sprechen sein. Was die Ursachen betrifft, so sind diese theils allgemeiner, theils besonderer Art, d. h. theils solche, welche an allen Orten der Erde das Klima bestimmend auftreten, theils solche, welche nur hier und da vorkommen, daher auch nur dort, wo sie auftreten, von Einfluß sind.

Allgemeine Ursachen sind:

1) Die Breite der Orte, indem bekanntlich die Hitze unterhalb und um den Aequator am heftigsten ist und von da nach den Polen zu immer mehr abnimmt.

2) Die Höhe über der Meeresoberfläche oder die Seehöhe eines Ortes. Je höher wir uns über die Oberfläche des Meeres erheben, desto mehr nimmt bekanntlich die Temperatur ab, zugleich wird auch die Atmosphäre dünner. Einer Erhebung von 600 Fuß entspricht im Mittel eine Temperaturabnahme von 1 Grad Celsius. (Vergl. Art. Atmosphäre Bd. I. S. 480. und Art. Isothermen.) Besonders modificirt sich noch das Klima der sogenannten Hochebenen, Ebenen, welche sich in einer bedeutenden Höhe über dem Meeresspiegel hinziehen. Da die in diesen Höhen lagernden Luftschichten dünner

*) Kosmos. Bd. I. S. 340.

als über der Meeresfläche sind, so dringen die Sonnenstrahlen ungeschwächter durch sie hindurch und bewirken daselbst eine größere Wärme, welche mit stärkerer Kälte, die des Nachts in Folge der ungehinderten Wärmeausstrahlung eintritt, abwechselt. Die Regenwolken erheben sich selten oder nie in diese Höhe. Quito ist eine solche Hochebene, die sich 8000 Fuß über die Meeresfläche erhebt. Ein anderes Beispiel ist die Wüste Gobi in Ostasien zwischen 32° und 43° n. Br.

3) Die Beschaffenheit des Bodens. In sandigen Gegenden, denen es überdies an einer festen Grundlage mangelt, verliert sich das aus der Atmosphäre kommende Wasser leicht und der Boden zeigt eine fortwährende Trockenheit. Sind solche Gegenden weit ausgebreitet, wie im nördlichen Afrika die Sahara, so hat die Trockenheit des Bodens zur Folge, daß sich auch gar keine wässerigen Ausdünstungen in die Luft erheben, folglich auch keine feuchten Niederschläge aus dieser erfolgen. In Ober-Aegypten und Süd-Amerika haben Rouet und A. v. Humboldt um Mittag die Boden-Temperatur des Granitsandes 67,75 und 60,5° C. gefunden *). Die hieraus sich erzeugende Trockenheit macht, daß weder Pflanzen noch Thiere, mit Ausnahme weniger Arten, existiren können, nicht einmal Vögel fortkommen und daher eine solche Gegend völlig zur Wüste wird. In den Wüsten kommen dann einzelne höchst üppig mit Vegetation bedeckte Stellen, die sogenannten Oasen vor. Dies sind Stellen, an denen eine feste Grundlage, vorzüglich Granit, das tiefere Herabsinken des atmosphärischen Wassers hemmt, wo sich also das Wasser ansammelt und nun mit der Wärme vereinigt das blühendste Leben mitten in der Einöde hervorruft. Im Gegensatze hierzu wird im Allgemeinen ein mit Pflanzen reich bedeckter Boden (Wiesen, Wälder) die Wirkung der Sonnenstrahlen mindern und die Feuchtigkeit länger zurückhalten als ein sandiger, kahler Boden; jene Gegenden werden daher nicht allein fruchtbarer, sondern auch kühler als diese sein, z. B. Aequatorial-Amerika. Kalkhaltiger Boden reflectirt die Sonnenstrahlen stark und verbreitet größere Wärme, als thonhaltiger Boden und Dammerde, welche länger die Feuchtigkeit zurückhalten und kühl bleiben. Auch schwarze basaltige Gegenden werden leicht und stark erhitzt.

4) Die Beschaffenheit der Tropenzone. Es ist diese Zone entweder eine kahle, dürre, breite, terrestre, wie wir z. B. in Afrika finden, oder eine zwar auch terrestre, aber doch mit Vegetation dicht bedeckte, feuchte, vom Ocean vielfach verengte, wie in Amerika, oder drittens eine vorherrschend oceanische, wie in Asien. Wie verschiedenartig die hieraus resultirende Wirkung auf das Klima der außertropischen Landschaften ist, zeigt sich besonders in den Winden, welche in Folge des in der Tropenzone aufsteigenden Luftstromes von hieraus nach den außertropischen Gegenden ihre Richtung nehmen. Wir verweisen deshalb, so wie überhaupt wegen des Einflusses

5) der vorherrschenden Winde auf den Art. Wind.

6) Die Richtung und Höhe der Gebirgszüge. Es versteht sich von selbst, daß sie Hindernisse darbieten für das Fortschreiten der Winde; sie wirken daher theilweise schützend gegen Temperatur erniedrigende Luftströmungen, anderentheils hemmen sie aber auch die Temperatur erhöhenden. Dies ist namentlich der Fall bei hohen Gebirgen, welche in der Richtung von Ost nach West sich

*) v. Humboldt, Ansichten der Natur. 3. Ausg. 1849. Bd. I. S. 136.

erstrecken, wie das Himalaya-Gebirge. Einen besonderen Einfluß auf die Regenverhältnisse äußern namentlich die in der Richtung von Süd nach Nord sich erstreckenden Gebirge, wie die Cordilleren und die Gebirge in Norwegen. Auch müssen wir hier noch auf den Einfluß der mit Schnee bedeckten Hochgebirge hinweisen, indem sich von ihnen die kalte Luft herabsenkt, die eine Temperaturerniedrigung zur Folge hat.

7) Die größere oder geringere Klarheit des Himmels. Wir müssen uns hier begnügen darauf hinzuweisen, daß ein bedeckter Himmel im Sommer die Wirkung der Sonnenstrahlen mindert und im Winter die Wärmeausstrahlung des Bodens hindert, so daß dadurch eine starke Erkältung desselben abgehalten wird. Wodurch die größere oder geringere Klarheit des Himmels bedingt wird, darüber handeln die Art. Nebel, Regen, Thau, Verdunstung, Wind &c., auf welche wir deshalb verweisen; hier erwähnen wir nur als einer allgemeineren Bedingung

8) der Nähe großer Wasserflächen. Sumpfstrecken, viele Seen, große Flüsse verbreiten Feuchtigkeit und, wenn sie lange mit Eis bedeckt sind, bedeutende Kälte. Die Gegend der nordamerikanischen Seen (s. weiter unten in diesem Art.) giebt einen schlagenden Beleg hierfür. Noch bedeutender ist aber der Einfluß des Meeres, und zwar am meisten da, wo stark entwickelte Küsten und Binnenmeere sich finden. Es wirkt nämlich das Meer in der gemäßigten Zone Temperatur erhöhend an den Westküsten der Continente in Folge der warmen äquatorialen Meeresströmungen, hingegen erniedrigend an den Ostküsten durch die kalten polaren Meeresströmungen, vergl. Art. Meer. Hier wollen wir nur beispielsweise auf den Strom kalten Meereswassers hindeuten, welchen A. v. Humboldt (1802) an der peruanischen Küste entdeckt hat *). In der Eiszone ist die Wirkung des Meeres Temperatur erniedrigend, wenn ein Erdtheil, wie Amerika und in noch höherem Grade Asien, sich mit einer breiten Landmasse in dieselbe hinein erstreckt.

Bei dieser Gelegenheit mag auch des auf dem Meere selbst herrschenden Klimas Erwähnung geschehen. Das Meer hat im Allgemeinen den Einfluß, daß es das Klima mehr constant, d. h. weniger der Veränderlichkeit unterworfen macht. Hier kommen wenige oder gar keine von den zufälligen Einflüssen auf das Klima vor, dieses wird fast lediglich durch die Breite bestimmt, denn auch die Erhebung über die Meeresfläche fällt natürlich weg. Die Luft über dem Meere ist stets mit Feuchtigkeit erfüllt und das Meer selbst ist weniger den Veränderungen der Temperatur ausgesetzt als der Boden des festen Landes. Alles dies gilt streng jedoch nur von den weiter ausgedehnten Meeren und nicht in der Nähe der Küsten, denn hier und in engen Meeren wird das Klima durch die örtliche Beschaffenheit des Strandes modificirt werden.

Gehen wir auf die physikalischen Momente ein, aus welchen diese Verschiedenheit des Klimas über dem Meere und über dem Festlande sich ergiebt, so finden wir zunächst, daß die glatte Meeresfläche die von der Sonne einstrahlende Wärme in größerem Maße zurückwirft, als der feste Boden, daß umgekehrt das Wasser weniger von der aufgenommenen Wärme durch Ausstrahlung wieder abgiebt.

*) Ansichten der Natur. 3. Ausg. Bd. I. S. 155.

Während auf dem Festlande die Erwärmung sich zunächst nur auf die obere mit Luft in Berührung stehende Schicht beschränkt, dringt dieselbe bei dem Wasser in größere Tiefe ein. Von der von dem Wasser absorbirten Wärme wird überdies ein Theil zur Verwandlung desselben in einen anderen Aggregatzustand, zur Dampfbildung verbraucht, nur der Rest dient zur Temperaturerhöhung; hierzu kommt noch, daß die Wärmecapacität des Wassers bedeutender ist, als die des trockenen Erdreichs, indem für eine gleiche Temperaturerhöhung ein Gewichtstheil Wasser ungefähr fünfmal mehr Wärme erforderlich macht, als ein gleicher Gewichtstheil von diesem, oder auf gleiche Raumeinheiten bezogen ungefähr das Doppelte. Rechnen wir hierzu noch die in dem beweglichen Meere Temperatur ausgleichend wirkenden Strömungen, durch welche das wärmere Wasser an der Oberfläche von den äquatorialen Gegenden nach den kälteren hingeführt wird, während in der Tiefe ein umgekehrt gerichteter Strom des kälteren Wassers stattfindet; so haben wir gewiß Anhaltepunkte genug, um uns den Unterschied des Einflusses des Meeres im Gegensatze zu dem des Festlandes auf die Atmosphäre und somit auf das Klima erklären zu können.

Das Eigenthümliche des Insel- und Küstenklimas ergiebt sich hieraus ohne Weiteres. Inseln und Küsten sind dem Temperaturwechsel weniger ausgesetzt, als das Binnenland. Den Gegenden am Meere kann es überdies auch nicht an Feuchtigkeit fehlen, da sich wässerige Ausdünstungen in Masse vom Meere erheben, die dann als Regen auf das Land niederfallen. Die Meergegenden zeichnen sich aber namentlich auch durch häufige Nebel und Stürme aus, so wie wenigstens manche flache Gegenden durch Ueberschwemmungen. So wird von dem Küstenklima auf dem Vorgebirge der guten Hoffnung berichtet, daß daselbst $^4/_{10}$ des Jahres Südostwinde wehen, welche häufig in heftige Stürme übergehen, so daß sie die Dünen am Ufer des Meeres versetzen und große Massen Sand fortführen. Diese Stürme sind den Bäumen im Wachsen hinderlich und zerbrechen dieselben nicht selten, stürzen Mauern um, sind den Schiffen gefährlich, und machen für Häuser und Gärten eigene Schutzmittel nöthig. Ueberdies herrschen in jenen Gegenden viele und starke Nebel, so daß nur ein Drittheil des Jahres heitere Witterung ist. Aehnlich ist auch das Klima des Küstenlandes von Buenos-Ayres. Hier sind aber die Nebel seltener, obschon eine bedeutende Feuchtigkeit herrscht. Dafür sind häufige und furchtbare Gewitter. Von einem Gewitter im Januar 1793 in Buenos-Ayres wird erzählt *), daß es 37 Mal eingeschlagen und 19 Personen getödtet habe. In den nördlichen Küstenländern kommen die Gewitter fast ausschließlich im Winter vor **). Die Inseln des großen Oceans zeichnen sich zum Theil durch Fruchtbarkeit und Milde des Klimas aus, indem die sonst dem Breitengrade nach hier zu erwartende Hitze durch das Meer gemäßigt wird. Besonders merkwürdig ist das Klima von St. Helena unter 16° s. Br. Die hohen Bergspitzen dieser Insel sind immer in Wolken gehüllt und der Boden ist stets feucht und daher sehr fruchtbar. Die Temperatur ist kühl und es herrscht ein fortwährender Südostwind und zwar gerade dann am heftigsten, wenn auf dem genau im Südost liegenden Cap die heftigsten Nordwestwinde wehen.

---

*) Voyages dans l'Amérique méridionale par D. Felix de Azara etc. Paris 1809. T. IV, l. chap. 1.

**) Art. Gewitter. Bd. III. S. 562.

Auch das genau bekannte Klima von Großbritannien zeichnet sich vor dem Klima des Continents aus. Berlin, Amsterdam und London liegen beinahe unter demselben Grade n. Br. und ungefähr zwei Grade nördlicher als Charkow, dabei aber sind sie von großer klimatischer Verschiedenheit. Charkow hat kältere Winter als Berlin, dieses kältere als Amsterdam, und in London reichen Kamine hin, die Zimmer zu erwärmen. In England kommen den ganzen Winter hindurch die Schafe nicht aus dem Freien.

Nirgends in England *) sinkt die mittlere Temperatur des Winters bis unter den Gefrierpunkt herab, und selbst auf der shetländischen Insel Unst in 60° 42′ n. Br. beträgt dieselbe noch etwa 4°. Aber dann sind diese Inseln fast mit ewigem Nebel bedeckt, Stürme aus S. W. condensiren das Wasser, es regnet häufig und die Strahlung wird daher verhindert, während das wärmere Meer der Luft beständig eine Menge seiner Wärme abgiebt. Dafür aber ist die Wärme des Sommers unbedeutend und Bäume gedeihen nicht mehr. Gehen wir weiter nach Süden, so werden die Winter in England wieder kälter, dafür aber die Sommer wärmer, so daß der Unterschied zwischen beiden Jahreszeiten, welcher auf der shetländischen Insel Unst nur die Größe von 8° hatte, hier bis zu 12° steigt. So wie wir uns jedoch den südlichen und südwestlichen Küsten von England nähern, so wird dieser Unterschied wieder geringer, die Temperatur des Winters nimmt sehr schnell zu, wie uns dieses Gosport und noch mehr die beiden in Cornwallis liegenden Orte Pensance und Helston beweisen, welche letzteren eine Wintertemperatur von mehr als 6° haben. Aber hier sind auch die Winterregen stark, die Luftmassen niederer Breiten erwärmen die Atmosphäre sehr bedeutend. Schon längst ist auf das merkwürdige Klima von Pensance und Devonshire aufmerksam gemacht worden. Pflanzen, welche keiner großen Kälte widerstehen können, wie Myrthen, Camellia japonica, Fuchsia coccinea und Buddleja globosa gedeihen an der Meeresküste ohne Schutz und der Hafen von Salcombe ist daher häufig das Montpellier des Nordens genannt worden **). Im Jahre 1774 blühte zu Salcombe eine Agave, nachdem sie 28 Jahre gestanden, ohne im Winter bedeckt zu werden. An dieser Küste sind die Winter so mild, daß man Orangenbäume am Spalier sieht, die man, wie in Rom, nur mittelst Matten schützt.

Die verhältnißmäßig warme Temperatur, welche auf der Westküste von Nord-Europa im Vergleich zu anderen Gegenden der Erde unter gleichen Breiten herrscht (vergl. die Isothermkarten im Art. Isothermen), wird den Wassern des Golfstromes, welche von Amerika aus der Gegend von Mexiko herüberströmen, gewöhnlich zugeschrieben; Dove ***) hat aber nicht mit Unrecht Europa als den Condensator für das caraibische Meer erklärt, und mit Glück die erhöhte Temperatur an der Westküste Europas aus der Wärme abgeleitet, welche aus dem wieder tropfbarflüssig werdenden Wasserdampfe, welchen die Südwestwinde bringen, frei wird. In gleicher Weise erklärt sich die nördliche Lage der Isothermen an der Nordwestküste Nordamerikas, wo die Andes und die Felsengebirge, wie bereits oben be-

*) Kämtz, Meteorologie. Bd. II. S. 60.

**) A. v. Humboldt in Mém. d'Ac. T. III. p. 537; vergl. Kleinere Schriften. Stuttgart und Tübingen. 1853. Bd. I. S. 264, nach Knight in den Transact. of the Horticultural Soc. of London. T. I. p. 32; vergl. auch Kosmos. Bd. I. S. 348.

***) Monatsisothermen, Berlin 1849. S. 26—28; vergl. Art. Isothermen.

merkt wurde, als von dem Einflusse der von Süd nach Nord sich erstreckenden Gebirgszüge die Rede war, den Niederschlag der von dem großen Ocean mit Südwestwind herbeigeführten Wasserdämpfe bedingen.

Die auffallende Verschiedenheit in dem Einflusse des Meeres einerseits und des Festlandes andererseits auf das Klima führt nicht nur darauf ein besonderes Insel- und Küstenklima zu unterscheiden, sondern veranlaßt den entschiedenen Gegensatz zwischen See- und Continentalklima.

Es war von Dove *) ein glücklicher Gedanke den Begriff der thermischen Normalen aufzustellen. Wir verweisen deshalb auf das Ende des Art. Isothermen, und nehmen auch hier auf umstehenden Seiten nochmals die Karten der Isothermen des Januar und Juli auf, da dieselben diese, hier besonders wichtigen Linien enthalten.

Die thermischen Normalen verbinden die Orte normaler Temperatur, d. h. die Orte, deren mittlere Temperatur mit der mittleren Temperatur des ganzen Breitenkreises übereinstimmt. Hieraus folgt, daß man aus diesen Linien in Verbindung mit den Isothermen sofort erkennen kann, ob ein Ort relativ kalt oder relativ warm ist, und ob eine Gegend das ganze Jahr hindurch oder nur zeitweise eines See- oder Continentalklimas theilhaftig ist, indem das erstere der Fall ist, wenn die Temperatur im Winter höher und im Sommer niedriger ist, als die mittlere oder Normal-Temperatur, das andere, wenn das Umgekehrte stattfindet. Die thermischen Normalen sind die Grenzlinien der beiden Klimate.

In dem angeführten Artikel Isothermen sind bereits einige hierauf bezügliche Resultate hervorgehoben; wir verweisen deshalb auf dieselben und fügen hier nur noch einige Einzelheiten hinzu.

Im Inneren des asiatischen Continents haben Tobolsk, Barnaul am Obi und Irkutsk Sommer wie in Berlin, Münster und Cherbourg in der Normandie; aber diesen Sommern folgen Winter, in welchen der kälteste Monat die schreckhafte Mitteltemperatur von — 18° bis — 20° hat. In den Sommermonaten sieht man wochenlang das Thermometer auf 30° und 31°. Buffon nannte solche Continentalklimata nicht mit Unrecht excessive **).

Ganz Europa fällt im Januar in den warmen Raum, denn die thermische Normale ist fast ganz genau die Scheidelinie zwischen Europa und Asien. Auch Grönland liegt darin, aber nur der schmale Küstensaum von Nordamerika am stillen Meere jenseits der Andes und Felsengebirge. In der tropischen Gegend ist überall das Meer im Winter wärmer, daher bildet das Innere von Afrika eine isolirte kalte Stelle im Gegensatz zu dem warmen Westindien und den Küstenländern des indischen Meeres und großen Oceans. Java und die Sundainseln haben daher dann im Gegensatz zu Westindien und Polynesien ein Continentalklima ***). Hierbei macht Dove darauf aufmerksam, daß es unpassend sein würde, wenn man Orte zu verschiedener Breite vergleichen wollte, z. B. wenn man sagen wollte, Moskau liege im Seeklima, hingegen Singapore und Batavia im

*) Monatsisothermen S. 4.

**) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. I. S. 347; Ansichten der Natur, 3. Ausg. 1849. Bd. I. S. 167.

***) Dove, Monatsisothermen. S. 8.

continentalen. Zugleich wollen wir hier davor warnen, die Charakteristik einer Gegend in Betreff des Klimas nur aus dem Unterschiede zwischen den mittleren Temperaturen des Sommers und Winters bestimmen zu wollen. Eine Betrachtung der Lage der thermischen Normalen im Januar und Juli, da hierdurch die Extreme der Verschiebung derselben bezeichnet werden, bietet schon einen sicheren Anhalt. So sehen wir z. B., daß von ganz Europa eigentlich nur Schottland und Irland während des ganzen Jahres dem Seeklima angehören, während der übrige Theil während des Winters zwar auch ein Seeklima hat, im Sommer aber ein continentales. Eben so wie mit Schottland und Irland verhält es sich in Amerika mit der Westküste von Californien nordwärts.

Haben wir oben die allgemeinen auf das Klima einer Gegend einwirkenden Ursachen angegeben, so wollen wir nur noch einiger besonderen gedenken.

Die Isothermkarte des Januar zeigt in Skandinavien eine auffallende Krümmung der Isothermen, so daß man da von Süd nach Nord reisend sogar nach wärmeren Gegenden kommt, als die waren, welche man verlassen hat. Der Grund hiervon ist darin zu suchen, daß die südlichen Theile von Norwegen durch das vorliegende Großbritannien mehr gegen den Einfluß der warmen Meeresströme geschützt sind, als die nördlichen.

Auf der entgegengesetzten Seite des atlantischen Oceans finden wir auf der Karte des Januar eben so eine südliche Richtung der Isothermen. Das von der Küste Grönlands und aus der Baffinsbay bis in den Monat Mai heruntertreibende Eis ist der Grund dieser Temperaturerniedrigung.

Die auffallende Concavität der Isothermen des Juli im Norden des großen Oceans, in dem Behringsmeere, verräth den Einfluß des aus dem Eismeere abziehenden kalten Wassers. Eine gleiche Ursache ist in dem karischen Meere wirksam. Dove vergleicht dieses Meer mit einem Eiskeller. Durch die karische Pforte und Matoschkin Schar geht eine Strömung gegen Westen nach Spitzbergen, wird an der grönländischen Küste nach Süden abgelenkt und fließt in südwestlicher Richtung zwischen Island und Grönland bis zum Cap Farewell. Ueberall verbreitet dieser Strom mit seinen Eismassen eine intensive Kälte. Am Cap Farewell trifft diese Strömung den durch die Davisstraße herabkommenden Strom, und daher treffen sich an der Neufoundlandsbank vom März bis Juni die Eismassen beider Ströme, welche dann in der hohen Temperatur des Golfstromes rasch schmelzen. Hieraus erklärt sich, warum bei zunehmender Mittagshöhe der Sonne in diesen Gegenden Amerikas die Temperatur nicht so hoch steigt, als es sonst der Fall sein müßte.

Ueber das Klima Nordamerikas, im Winter ein echtes Continentalklima, ungeachtet die Küsten von dem warmen Golfstrome bespült werden, im Sommer eher an das Seeklima erinnernd, sagt Dove *) Folgendes:

Der Superior, Huronen, Erie, Michigan, Ontario und die kleinen Seen des Stromgebietes des St. Lorenz bedecken zusammen eine Oberfläche von 94000 engl. Quadratmeilen. Außerdem bildet der Bärensee, Sclavensee, Athapescow, Winipeg, Manituba, Garry, Churchill und Wäldersee eine fast ununterbrochene Kette von Wasserspiegeln in der Mitte des Landstrichs zwischen der Hudsonbay und

*) Monatsisothermen S. 28.

Isothermen des Januar.



Isothermen des Juli.



den Felsengebirgen nach dem arktischen Meere hin. Bei abgeschlossenen Wasserspiegeln findet das Herabsinken der erkälteten Tropfen und die Temperaturerniedrigung der Luft durch Verdunstungskälte wie im Meere statt. Aber das zu Boden gesunkene Meerwasser fließt in der Tiefe nach wärmeren Gegenden ab. Dieses seitliche Abfließen kann in eingeschlossenen Seen nicht eintreten. Da außerdem Süßwasser bei 3° R. über dem Frostpunkte am dichtesten ist, so hört bei dieser Temperatur das Herabsinken auf, ein Süßwasserspiegel verliert also da schon seinen abgleichenden Einfluß, der bei Meerwasser bis unter Null stattfindet, da es sich bis zum Frostpunkte ununterbrochen zusammenzieht, bei welchem außerdem die Bildung einer festen Eisdecke durch die Wirkung der Ebbe und Fluth wesentlich gehemmt wird. Amerika mit seinen gefrornen Seen ist daher im Winter eine continentale Masse, während es im Sommer mannichfach gegliedert erscheint. Warum die Seen aber im Verhältniß zu Europa viel früher im Jahre gefrieren, dafür sucht Dove den Grund darin, daß die in Europa im Winter auf SW. fallende mittlere Windesrichtung nach dem Sommer hin immer nördlicher wird, in Amerika hingegen die im Winter nordwestliche Windesrichtung mehr südwestlich im Sommer.

Von besonderem Einflusse auf die Temperatur sollen ausgebreitete Waldungen sein. Dieselben ziehen in heißen Gegenden die Feuchtigkeit der Atmosphäre an sich, halten die vorhandene länger zurück und erzeugen so eine größere Kühlung. Auf den Cap-Verdischen Inseln und auf Barbadoes soll wegen zu starker Ausrottung der Urwälder oft in 3 Jahren kein Regen fallen, so daß Alles verdorrt. Auf einigen westindischen Inseln hat man daher aufs Neue Wälder anlegen müssen, auf anderen ist es bei schwerer Strafe verboten, die in Wäldern zum Regen vorbehaltenen Länder (so nennt man sie) abzuholzen *).

Durch die im amerikanischen Continente noch vorhandenen Urwälder ist jener Welttheil feucht und fruchtbar im Gegensatze gegen die sandigen Distriete von Asien und Afrika. Moreau de Jonnes, der sich namentlich bemüht hat, den Einfluß der Waldungen auf die Temperatur zu erörtern **), zeigt, daß die große Hitze und Trockenheit eines Theils von Persien, der Tartarei, selbst der Gegenden um Kabul und der Wüste Sind eine Folge der Ausrottung der Bäume sei, welche übrigens in der Umgebung bewohnter Oerter sehr gut gedeihen und daher keineswegs in Folge der Unfruchtbarkeit des Bodens so gänzlich mangeln. Nach v. Humboldt's ***) Urtheile würde Amerika eine gleiche Veränderung erleiden, wenn es seine Wälder durch gänzliche Ausrottung verlöre. Hierdurch, sagt er, bereiten die Menschen unter allen Himmelsstrichen den kommenden Geschlechtern gleichzeitig eine doppelte Plage, Mangel an Brennstoff und an Wasser. Die Bäume verbreiten um sich eine kühlere, feuchte Atmosphäre und wirken auf den Reichthum der Quellen, indem sie den Boden gegen die unmittelbare Einwirkung der Sonnenstrahlen schützen. Die Zerstörung der Wälder, wie die

*) Forster, Stoffe zum Nachdenken. S. 14; Muncke in Gehler's physikal. Wörterb. N. B. Bd. V. S. 881.

**) Untersuchungen über die Veränderungen, die durch die Ausrottung der Wälder in dem physischen Zustande der Länder entstehen. Aus dem Franz. von W. Wiedemann. Tübingen 1828.

***) Reisen, deutsche Uebers. Bd. III. S. 121.

europäischen Colonisten dieselbe in Amerika allenthalben mit unvorsichtiger Eile vornehmen, hat die gänzliche Austrocknung oder wenigstens die Abnahme der Quellen zur Folge. Eben dies ist nach Lichtenstein der Fall auf der Südspitze von Afrika. Dort gedeihen die Wälder nur, wo Feuchtigkeit ist, also in Bergschluchten, in denen die Bäume den Boden wiederum gegen Austrocknen schützen. Diesen Waldungen allein verdankt die ganze Südküste von Afrika ihre Fruchtbarkeit, sie aushauen hieße diese Gegenden für mehrere Jahrhunderte unbewohnbar machen.

Kämtz *) widerspricht jedoch der Behauptung von dem auf die Temperatur herabdrückend wirkenden Einflusse der Wälder. Er sagt: „Wenn es im Allgemeinen nicht zu leugnen ist, daß das Thermometer in Wäldern nicht so hoch steht, als auf freien Ebenen, so scheint dennoch die mittlere jährliche Temperatur dadurch wenig oder gar nicht geändert zu werden, sobald nicht erwiesen wird, daß die Pflanzen bei ihrem Wachsthume Wärme absorbiren und binden, ohne daß diese in der Folge wieder frei wird. Wenn auch Wälder die Temperatur des Sommers vielleicht nicht so hoch steigen lassen, als sonst geschehen würde, so verhindern sie auf der anderen Seite auch wieder die Strahlung und damit die Erkältung während der Nacht und im Winter. Amerika selbst giebt uns den auffallendsten Beweis, welchen geringen Einfluß die Wälder auf diesen Umstand haben. Die seit mehreren Jahrhunderten von Europäern bebaute Ostküste ist schon weit entwaldeter, als die westlicher liegenden Gegenden, es müßte dieser Hypothese zufolge die Westküste kälter sein. Die Erfahrung zeigt das Gegentheil." Kämtz scheint indessen hier übersehen zu haben, daß auf das Klima der Ost- und Westküste Amerikas noch andere Faktoren Einfluß haben, wie bereits oben auseinandergesetzt ist. Wäre die Beschaffenheit der Erdoberfläche der einzige Faktor, so könnten wir ihm beistimmen. Er sagt auch selbst: „Freilich spricht die allgemeine Erfahrung nebst historischen Zeugnissen für diesen Einfluß der Wälder. Seitdem letztere in Amerika mehr ausgerottet sind, soll das Klima angenehmer geworden sein. (Nach A. v. Humboldt **) wird es jetzt allgemein bezweifelt, daß wegen Ausrottung vieler Wälder diesseits und jenseits der Allieghanys das Klima gleichmäßiger: milder im Winter, kühler im Sommer, geworden sei.) Die Menschen urtheilen hier nach ihrer Empfindung; Nebel, welche in den Wäldern häufig sind, erzeugen stets ein Gefühl von Kälte. Ganz dasselbe wird von Europa, namentlich von Deutschland erwähnt, und Moreau de Jonnes hat eine Menge von Beispielen aus den Alten zusammengestellt, welche zeigen sollen, wie Deutschland seit den Zeiten der Römer und der Verminderung der Wälder wärmer geworden sei. Aber bei aller Achtung vor den Alten, welche Baco v. Verulam einst in die Kinderjahre des Menschengeschichts setzte, muß ich ihr Zeugniß in dieser Hinsicht für völlig ungültig erklären. Ihnen, die an den heiteren Himmel Italiens gewöhnt waren, welche fast gar keine Sommerregen kannten, mußte der trübe Himmel Deutschlands fürchterlich erscheinen. Finden wir doch noch eben solche Urtheile, wie bei den Alten, über das Klima von Deutschland, bei Franzosen und Italienern."

*) Meteorologie. Bd. II. S. 82.
**) Ansichten der Natur. 3. Ausg. Bd. I. S. 165.

Den Einfluß der Waldungen auf das Klima ganz abzuleugnen, stehen wir an. Die verschiedensten Ursachen wirken zusammen, oft heben die einen die andern auf, und so sind gewiß auch die Waldungen einer der Faktoren, wie wir schon bemerkt haben, da durch sie die Beschaffenheit der Erdoberfläche modificirt wird. Auch spricht sich noch neuerdings A. v. Humboldt *) ausführlich über die zusammengesetzten Verhältnisse in der Einwirkung großer Waldregionen auf die Atmosphäre aus, und hebt eine dreifache Wirkungsweise hervor: durch Schattenkühle, Verdunstung und kälteerregende Ausstrahlung.

Das Klima der einzelnen Länder ändert sich in kürzeren Fristen, ja in Jahrhunderten nur sehr wenig oder gar nicht **). Während größerer Zeiträume von Jahrtausenden müssen aber, wie eine Menge von Anzeigen lehren, bedeutende Veränderungen des Klimas an allen Punkten der Erde vorgegangen sein ***).

Sehr groß ist der Einfluß des Klimas auf die ganze organische Welt. Obschon der Mensch sonst unter allen Himmelsstrichen fortkommt und sich hierdurch vor allen andern lebendigen Wesen der Erde auszeichnet, so sind doch die nahe um die Pole gelegenen Gegenden auch für ihn unzugänglich. Die Kälte ist in jenen Gegenden unerträglich, und trotz vieler Versuche ist es doch bisher noch Niemanden gelungen, bis in die Nähe des Erdpoles vorzudringen. Zu den nördlichsten Gegenden, auf denen Menschen jahrelang ausgedauert haben, gehört Spitzbergen. Hier ist die Temperatur so niedrig, daß Scoresby, der mehreremal zur Zeit des Sommers hier war, doch nur einmal eine Temperatur von 9° C. beobachtet hat. Gewöhnlich erhebt sich das Thermometer nicht über 1,5° C. Von 9 Engländern, welche hier, durch einen Zufall zurückgelassen, zuerst überwintern mußten, ist auch nicht einer mit dem Leben davon gekommen, wogegen 8 andere im Jahre 1630 den Winter überstanden. Später, von 1734 an haben sich sogar 3 Russen 6 Jahre und 3 Monate hier aufgehalten, ein vierter aber war gestorben. Die dem Leben nachtheiligste Folge des hier waltenden Klimas ist der Scorbut, welchen Mangel des Lichts, Kälte und die eingeschlossene Luft unter der Erde und dem Schnee tödtlich machen.

Im Allgemeinen verschwindet in den kälteren Gegenden immer mehr die in warmen Regionen so große Mannichfaltigkeit in der Pflanzen- und Thierwelt. Jedes Klima hat seine eigenen ihm eigenthümlichen Pflanzen und Thiere, nur daß namentlich die Pflanzen der kalten Gegenden gut in wärmeren gedeihen, während umgekehrt die Gewächse warmer Klimate gar nicht oder nur mit Hülfe der Kunst in kälteren fortkommen. Die einzelnen Individuen der Pflanzen und Thiere werden in warmen Gegenden stärker als in kalten, und erreichen dort häufig eine kolossale Größe. So fand z. B. v. Humboldt unter dem Aequator Feigenbäume, deren Stamm 22 F. Durchmesser hatte. Zuweilen war der Baum über der Erde in Wurzeln von 2 Fuß Durchmesser gespalten, welche ihn wie Pfeiler trugen. Diese Wurzeln gehen nicht tief in die Erde, sondern verbreiten sich weithin, und wenn man sie in 20 F. Entfernung vom Stamme abhauet, so quillt der Saft heraus und erhärtet. Auf den canarischen Inseln sah derselbe einen Drachen-

*) A. a. O. Bd. I. S. 138.

**) Vergl. Art. Erde. Bd. II. S. 929.

***) Vergl. Art. Geologie. Bd. II., namentlich S. 524.

baum von 16 Schuh im Durchmesser; er giebt sogar Nachricht von Affenbrotbäumen, welche 25 bis 27 Fuß Durchmesser hielten *).

Das Pflanzenreich ist abhängig vom Boden und Klima, daher in den einzelnen Zonen verschieden. A. v. Humboldt gebührt das Verdienst **) zuerst die richtigen Principien einer Pflanzengeographie aufgestellt zu haben, wiewohl schon Willdenow früher sich auf demselben Gebiete versucht hatte. Auch Treviranus, De Candolle und Schouw sind hier zu nennen; die meiste Anerkennung hat sich aber die zuerst von Meyen ***) aufgestellte Eintheilung erworben. Dieser theilt die heiße und kalte Zone in 2, die gemäßigte allein in 4 Gürtel, und erhält somit 8 Zonen.

1) Aequatorial-Zone von 15 n. bis 15° s. Breite. Es gehört in diese Afrika von dem Südrande der Sahara und dem Quellengebiete des Nil bis zur Südgrenze von Niederguinea und Mozambique; von Asien nur die südliche Hälfte der beiden ostindischen Halbinseln, der ostindische Archipel nebst Neu-Guinea und dem nördlichsten Theile von Neuholland; von der westlichen Halbkugel ein großer Theil der Südseeinseln, vorzüglich die minder bedeutenden, in Amerika: Guatemala, der nördliche Theil von Südamerika nebst Peru und dem größten Theile von Brasilien.

In den Gegenden dieser Zone gesellt sich zu dem hohen Wärmegrade ein entsprechender Grad von Feuchtigkeit der Atmosphäre, und es entfaltet sich die Pflanzenwelt in einer Ueppigkeit und entwickelt eine Mannichfaltigkeit der Formen und der Farben, die jeden zur Bewunderung hinreißt, der die Tropenländer besucht.

Alle Gewächse der Aequatorialzone erscheinen saftreicher, von frischerem, lebhafterem Grün als die unserer nordischen Gegenden. Nicht nur die Blätter erscheinen größer und glänzender, sondern vor Allem auch die Blüthen. Bäume, welche die Höhe unserer Eichen um das Doppelte überragen, prangen dort mit Blumen, die an Pracht und Größe mit denen unserer Lilien wetteifern. Zugleich herrscht hier der größte Reichthum an Gestalten. Gesellig lebende Pflanzen, welche die europäische Vegetation oft so einförmig machen, sind am Aequator fast gar nicht zu finden. Die majestätischen Palmen wechseln mit der großblätterigen Pisangstaude, mächtige Pandanengebüsche mit schlanken Blumenrohren; das luftige Laub der Mimosen contrastirt mit den großen Blättern der Brot- und Wollbäume, und herrliche Orchideen und Lianen verzieren die mannichfachen Formen. Nur die schlanken Bambusen finden sich jederzeit gesellig und bilden hier eben so ausgedehnte Wälder wie die Nadelhölzer unserer nordischen Gegenden. Am wichtigsten aber entfaltet sich die Tropenvegetation in den sogenannten Urwäl-

*) Ansichten der Natur. Bd. II. S. 21; besonders lehrreich ist in dieser Beziehung die wissenschaftliche Erläuterung auf S. 104 ff.

**) Essai sur la Geographie des plantes et Tableau physique des Regions équinoxiales 1807.

***) Grundriß der Pflanzengeographie. Berlin 1836; vergl. auch: Griesebach, Berichte über die Leistungen in der Pflanzengeographie. Berlin 1845 — 1851; eben so verdient der physikal. Atlas von Berghaus, Vorbemerkungen S. 54 ff. noch Beachtung.

dern der Aequatorialzone, worüber wir indessen auf andere Werke hinweisen müssen *).

2) Tropische Zone von 15° bis 23½° n. und s. Breite. Sie umfaßt auf der nördlichen Halbkugel: die Sahara, die libysche und nubische Wüste, das südliche Arabien, die beiden ostindischen Halbinseln nebst dem Südrande von China, die Sandwich-Inseln, das südliche Mexico und die westindischen Inseln; auf der südlichen Halbkugel: das unbekannte Hochland von Afrika, Madagaskar nebst den Mascarenen, die nördliche Hälfte von Neuholland, den größten Theil der Südseeinseln, Bolivia und den gebirgigen Theil von Brasilien.

Im Allgemeinen steht der Vegetationscharakter dieser Zone dem der ersten sehr nahe und in einzelnen Gegenden, wie um Calcutta und Rio de Janeiro, ist wenig von einem Unterschiede zu merken. Die Palmen, Bananen und Blumenrohre, die Meliaceen, Aronen und Sapinden sind auch hier die herrschenden Hauptformen, und Pothosgewächse, Orchideen und Lianen erhöhen den Schmuck dieser Vegetation; indessen treten hier die baumartigen Farren in größerer Menge auf als in der Aequatorialzone, und Melastonen, Winden und Pfeffergewächse herrschen ebenfalls vor. Als besonders charakteristisch aber ist hervorzuheben, daß die Wälder der tropischen Zone einen größeren Reichthum an Unterholz aufzuweisen haben, während in der Aequatorialzone die parasitische Flora das Uebergewicht hat.

3) Subtropische Zone von 23½° bis 34° n. und s. Breite. Es liegt in derselben auf der nördlichen Halbkugel in Afrika: die Berberei, das Plateau von Barka und Aegypten; in Asien: das nördliche Arabien nebst Syrien und Palästina, das Hochland von Persien, die ostindische Tiefebene, die Kette des Himalaya, das Plateau von Tibet und der größte Theil von China; in Amerika: der nördliche Theil des Plateaus von Mexico und der südliche Theil der Tiefebene am Mississippi; auf der südlichen Halbkugel: das Capland, der südliche Theil von Neuholland, Chile und die Länder am La Plata.

Die mittlere Sommertemperatur beträgt in dieser Zone 22,5 bis 27,5° C., bei einer mittleren Jahrestemperatur von 17 bis 21,5°; es wird die Hitze nicht so drückend wie in den Tropen und die Sommerwärme reicht doch aus, um den größten Theil der tropischen Früchte zur Reife zu bringen. Dabei sind die Winter so mild, daß die Vegetation nie erstirbt. In den ebenen Gegenden gedeihen hier fast überall noch Palmen und Bananen, und die baumartigen Gräser tragen in China wie am Mississippi zur Charakteristik der Vegetation bei. In Betreff der Baumformen zeigt diese Zone aber eine durchaus andere Physiognomie als die Tropengegenden, indem die Laubhölzer mit dicken, lederartigen und glänzenden Blättern, so wie die Myrtenform vorherrschend werden.

4) Wärmere temperirte Zone von 34 bis 45° n. und s. Breite. Auf der nördlichen Halbkugel gehören hierher das südliche Europa: die pyrenäische Halbinsel nebst dem südlichen Frankreich bis zur Mündung der Garonne, die Apenninen und die Balkanhalbinsel; von Asien: Kleinasien, die Länder zwischen dem schwarzen und caspischen Meere, Turan, das Hochland von Innerasien, das nörd-

*) Griesebach, a. a. O. 1844. S. 76; A. v. Humboldt, Ansichten. Bd. I. S. 317. Bd. II. S. 1; Rudolph, d. Pflanzendecke der Erde. Berlin 1853. S. 175.

liche China mit Korea und die japanischen Inseln; von Nordamerika: der nördlichste Theil Mexicos und der größte Theil der vereinigten Freistaaten bis zu den Quellen des Mississippi; von der südlichen Halbkugel der südliche Theil von Neuholland nebst Van Diemensland, Neuseeland, das südliche Chile, das nördliche Patagonien, die Pampas von Buenos-Ayres.

Einige Punkte, z. B. Palermo und Catania, haben noch das Klima der subtropischen Zone. Der tropische Charakter hört hier auf, und nur schwache Andeutungen, wie die in Spanien und Neapel verbreitete Zwergpalme, mahnen daran, daß man sich noch unter jenem glücklichen Himmelsstriche befindet, in welchem die Vegetation ein immergrünes Kleid zeigt. Die Laubhölzer mit dicken, lederartigen und glänzenden Blättern sind für diese Zone eben so charakteristisch wie für die subtropische, doch gesellen sich ihnen schon Laubhölzer mit zarten Blättern hinzu, wie Eichen, Buchen und Ulmen, deren kleine, unansehnliche Blätter nicht mehr im Stande sind, zum Schmucke der Vegetation beizutragen. Dafür treten aber viele Sträucher, wie der Oleander, die Cistrosen (Cistus), mannichfache Haidesträucher und viele Leguminosen mit großen, prachtvollen Blumen auf, und eine Menge von lilienartigen Gewächsen mit reich gefärbter Blüthenhülle schmücken den Boden. Ausgedehnte Wiesen, wie unsere nordischen Gegenden sie zeigen, finden wir hier noch nicht, nur einzelne hochliegende Gebirgsthäler bereiten auf diesen Anblick vor. Weiter läßt sich aber im Allgemeinen nichts über diese Zone sagen; die einzelnen Ländergebiete sind hier so verschieden, daß die eben gegebene Charakteristik, die sich vorzugsweise auf das südliche Europa bezieht, weder auf das Innere von Asien, noch auf die Länder der südlichen Halbkugel paßt.

5) Kältere temperirte Zone von 45 bis 58° n. und s. Breite. In dieser Zone liegen die brittischen Inseln, das nördliche Frankreich, ganz Deutschland, der südliche Theil von Schweden, Polen, Ungarn, die südliche Hälfte von Rußland, das nördliche Turan, das Altaische System und die Mandschurei, Kamtschatka, die Länder im Norden Mexicos und der vereinigten Staaten bis zum Südrande der Hudsonsbai nebst Canada und Labrador. Von der südlichen Halbkugel gehören hierher: Patagonien nebst Feuerland, die Falklandsinseln und einige andere Inseln.

Physiognomisch wird diese Zone zunächst charakterisirt durch die Laubhölzer mit breiten, zarten und hellgrünen Blättern, die in Verbindung mit der gesellig wachsenden Kiefer die Wälder bilden. Der 58. Grad n. Br. kann im westlichen Europa als die Polargrenze der Buche angesehen werden, während der Ural zugleich die östliche Grenze der Eiche bildet; auch geht der Anbau des Weizens im Großen nicht über die Nordgrenze dieser Zone hinaus. Die Stämme unserer Waldbäume sind mit Moosen und Flechten bekleidet, die Lonicera schlingt sich in die Krone niederer Bäume hinauf, der Epheu glimmt an den Baumstämmen, Felsen und Mauern hinauf, oder kriecht weit und breit über den Boden der Wälder hin, und der Hopfen, die bedeutendste Schlingpflanze dieser Zone, klettert 12 bis 15 F. hoch auf die Bäume. Der Reichthum an Gesträuchen ist hier noch bedeutend und viele derselben, wie die zahlreichen Rosen, der Schneeball und die Brombeeren sind mit großen und schönen Blüthen geschmückt. Besonders charakteristisch sind ferner die niedrigen, gesellig wachsenden Gräser, die hier zum ersten Male in größeren Massen auftreten. Unsere Wiesen sind eben so lieblich in ihrer

Erscheinung, wenn tausend farbige Blumen sie in einen bunten Teppich verwandeln, als seltsam, wenn sie an feuchteren Stellen von dem merkwürdigen Wollgrase mit seinen weißen, seidenglänzenden Köpfchen bedeckt sind. An anderen Stellen sind Moorgegenden oft in bedeutender Ausdehnung mit Moosen bekleidet, zwischen denen nur selten ein anderes Pflänzchen emporkommt. Sie bieten einen eben so melancholischen Anblick dar, wie die trockenen Ebenen, die von der Rennthierflechte überzogen oder mit Haidekraut bedeckt sind, und in denen sich hier und da dunkle Wachholdergesträuche erheben. Unsere Landseen sind von Kalmus, Rohr, Schilf und blattlosen Binsen eingefaßt, neben denen hier und da eine Schwertlilie mit ihren großen gelben Blumen prangt, oder an anderen Stellen mit gesellig wachsenden Winden besetzt, zwischen denen prächtige Epilobien mit ihren großen, bläulichrothen Blüthentrauben emporragen. Doch nur während der Hälfte des Jahres erfreut sich die Erde dieser Vegetationsdecke. Im Herbste entkleiden sich die Bäume ihres Laubschmuckes, nur die Mistel grünt noch hin und wieder in den schattenlosen Kronen der Bäume. Der Winter bedeckt den Boden mit Schnee, die Seen und fließenden Gewässer mit Eis, und nur das dunkle Grün der Fichten und Tannen erinnert daran, daß die Vegetation nur schlummert. Dafür entwickelt aber auch die Natur in dieser Zone bei ihrem ersten Erwachen im Frühlinge einen Reiz, der auf der ganzen Erde anderswo vergeblich gesucht wird.

6) Subarktische Zone von 58 bis $66^1/_2{}^0$ n. und s. Breite. Auf der nördlichen Halbkugel liegen hier Island, der größte Theil der skandinavischen Halbinsel, das nördliche Rußland, das mittlere Sibirien, das russische Nordamerika, das brittische Gebiet im Nordwesten der Hudsonsbai und der südlichste Theil von Grönland; auf der südlichen Halbkugel nur wenige unfruchtbare Inseln.

Der Vegetationscharakter ist sehr einförmig. Laubhölzer kann man nur als Ueberläufer aus der vorigen Zone ansehen; die Nadelhölzer sind entschieden im Uebergewichte, und in den nördlichen Gebieten finden sich nur noch Weiden, Espen, Ebereschen und Birken als Begleiter derselben. Niedrige Gräser als Wiesen sind auch hier noch charakteristisch, doch nehmen die Halbgräser entschieden zu, eben so wie die Flechten, welche den dürren Boden überziehen, und die Moose, welche die Torfmoore bekleiden.

7) Arktische Zone von $66^1/_2$ bis 72^0 n. und s. Breite. Der nördliche Theil der skandinavischen Halbinsel nebst Lappland, der Nordrand von Rußland und Sibirien und der des Festlandes von Nordamerika nebst mehreren Inseln liegen auf der nördlichen Halbkugel in dieser Zone, auf der südlichen die Küstenstriche des antarktischen Continents.

Die Birke bildet hier die Grenze der Baumvegetation; zwar treten noch einige Nadelhölzer, die Fichte und Tanne, ebenfalls auf, aber nur in Europa. Die Wiesen werden selten; dafür erscheinen ungeheure Strecken mit dürren Flechten und Moosen bekleidet, oder eine niedere Strauchvegetation überzieht den Boden. Diese Zone ist die Grenze aller Cultur des Bodens, in Asien und Amerika ist dies jedoch stellenweise bereits in der vorigen Zone der Fall.

8) Polarzone von 72^0 bis zu den Polen. In derselben liegen: Spitzbergen, Nowaja-Semlja, die Taimyrhalbinsel, Neu-Sibirien, die Nordgeorgischen Inseln und der äußerste Norden von Grönland.

Alle Länder dieser Zone, welche von ihren Küsten aus meistentheils zu

bedeutenden Gebirgen emporsteigen, zeigen durchweg einen öden, traurigen Charakter. Bäume und Sträucher fehlen gänzlich, ja selbst von den Halbsträuchern treten nur wenige Formen als krautartige Gewächse auf. Der Sommer, der hier 4 bis 6, höchstens 9 Wochen dauert, vermag nur die schnell sich entwickelnden Alpenkräuter zur Blüthe zu bringen, von einer Cultur von Nahrungspflanzen aber ist hier nirgends mehr die Rede. Wenn gleich die Thätigkeit der Natur in diesen traurigen Gegenden noch nicht vollständig erstorben ist, so erscheinen doch große Strecken theils wegen gänzlichen Mangels an Dammerde, theils wegen Wassermangels völlig vegetationsleer. Nur wo der Felsen mit schwacher Erdkrume überzogen ist, entwickeln sich zur Sommerzeit die alpinen Pflanzenformen, wobei die genaue Uebereinstimmung der Gewächse dieser Ländergebiete mit der Flora der höchsten Regionen der Berge besonders interessant erscheint, so groß auch die Entfernung der Berggipfel von der Polarzone sein mag.

Alle natürlichen Verbreitungsbezirke der einzelnen Pflanzen verlaufen allmälig in ihre Nachbarbezirke, so daß die angegebenen Grenzlinien weder für alle Punkte der Erde, noch für alle Pflanzenformen als wirkliche Vegetationsscheiden zu betrachten sind. Auf die Einzelheiten in den verschiedenen Zonen können wir hier nicht weiter eingehen; wir verweisen deshalb wiederholt auf die bereits angeführten Schriften, namentlich auf die Zusammenstellung in Rudolph's Pflanzendecke der Erde, außerdem führen wir noch an: Berghaus, Grundriß der Geographie, Breslau 1843.

Mit der Erhebung über die Oberfläche des Meeres findet ein ähnlicher Pflanzenwechsel statt wie in der Entfernung vom Aequator nach den Polen hin. Schon A. v. Humboldt theilte die Oberfläche der tropischen Gebirge in 3 Regionen ein: die heiße, gemäßigte und kalte, und deutete dabei auf die Unterabtheilungen hin. L. v. Buch und Wahlenberg haben diese Abstufungen für verschiedene Breitengrade näher zu bestimmen gesucht. Meyen hat eine Eintheilung in 8 Regionen aufgestellt, welche den angeführten Zonen der Reihe nach entsprechen. In der Kürze sind es folgende:

1) Region der Palmen und Bananen vom Meeresspiegel bis zu 1900 Fuß Erhebung.
2) Region der Farrenbäume und Feigen von 1900 bis 3800 F.
3) Region der Myrten und Lorbeeren von 3800 bis 5700 F.
4) Region der immergrünen Laubhölzer von 5700 bis 7600 F.
5) Region der europäischen Laubhölzer von 7600 bis 9500 F.
6) Region der Nadelhölzer von 9500 bis 11400 F.
7) Region der Alpenrosen von 11400 bis 13300 F.
8) Region der Alpenkräuter von 13300 bis 15200 F.

Es bedarf kaum der Bemerkung, daß nur in der Aequatorialzone sich alle 8 Regionen finden, und daß in jeder folgenden Zone eine Region weniger auftreten kann. Eben so versteht es sich von selbst, daß die angegebenen Grenzen nicht scharf zu nehmen sind; es treten oft Differenzen von 100 und mehr Fuß auf, namentlich rücken an den Südabhängen der nördlichen Halbkugel alle Vegetationsgrenzen höher hinauf als an den nördlichen. Ist ja doch auch die Schneegrenze bei verschiedenen Gebirgen derselben Zone oft um einige 1000 Fuß verschieden.

In Betreff des Thierreichs zeigt sich eben so eine Abhängigkeit vom Boden und Klima, außerdem aber auch noch von der Pflanzenwelt, und demnach hat man eben so für jede Gegend eine besondere Fauna wie Flora. Wir können dies hier nur kurz berühren und müssen auf die größeren zoologischen Werke verweisen, auch sind die Vorbemerkungen zum Atlas von Berghaus zu vergleichen *).

In der heißen Zone findet sich die größte Mannichfaltigkeit und Menge von Thieren; der prächtigste Farbenschmuck tritt hier auf; die Landthiere sind die größten und vollkommensten; nirgends finden sich so viele, so starke und gefährliche Raubthiere; eben so hausen hier die giftigsten Schlangen.

In der gemäßigten Zone finden wir einen großen Reichthum an nützlichen Thieren, Hausthieren, am zahlreichsten und vollkommensten im Süden. Die wild lebenden europäischen Thiere verschwinden vor der Cultur.

Die kalte Zone besitzt vorzugsweise Wasserthiere, wenige Arten von Landthieren, meistens Pelzthiere. Als Hausthier finden wir nur das Rennthier und den Hund.

Im Gebirgslande leben vorzugsweise kräftig entwickelte, schlanke, muntere Thiere; im Sumpflande massenhafte, plumpe, schwerfällige. Bei den Landthieren scheinen vorzugsweise Temperatur-Verhältnisse, von den Breitengraden abhängig, die organische Entwickelung genetisch begünstigt zu haben.

In Bezug auf die unorganische Rinde der Erde bemerken wir nur, daß dieselbe gleichsam unabhängig ist von klimatischen Einflüssen; sei es, daß der Unterschied der Klimate nach Unterschied der geographischen Breite neuer als das Gestein ist; sei es, daß die erhärtende, wärmeleitende und wärmeentbindende Erdmasse sich selbst ihre Temperatur gab, statt sie von außen zu empfangen. Alle Formationen sind daher allen Weltgegenden eigen, und in allen gleichgestaltet **). Wir verweisen in dieser Beziehung auf Art. Geologie.

Was endlich den Menschen betrifft, so ist gewiß, daß das Klima auf die körperliche Beschaffenheit einen bedeutenden Einfluß ausübt, und stammen alle Menschen von Einem ersten Menschenpaare ab, so kann die Unterschiedenheit der Racen und Völkerstämme keine anderen als klimatische Ursachen haben. Ueber das Menschengeschlecht in seinen physischen Abstufungen, in der geographischen Verbreitung seiner gleichzeitig vorhandenen Typen, in dem Einflusse, welchen es von den Kräften der Erde empfangen und wechselseitig, wenn gleich schwächer, auf sie ausgeübt hat, verweisen wir, da es uns hier zu weit führen würde, auf A. v. Humboldt's Schilderung ***) und auf Berghaus ****).

Wir heben nur noch Eins hervor, nämlich, daß gewisse Distriete von gewissen Krankheiten vornehmlich heimgesucht sind, welche sich von da aus oft epidemisch weiter verbreiten. Hautausschläge sind heimisch in heißen Gegenden; der Weichselzopf in der großen Tartarei, Siebenbürgen, Ungarn, Polen; Kakerlaken, Kretins, Albinos kommen in den engen Bergschluchten, namentlich der Alpengebirge vor; das gelbe Fieber ist heimisch in heißen Gegenden, von wo es sich

*) Atlas, Vorbemerk. Bd. II. S. 135 — 191.
**) A. v. Humboldt, Ansichten der Natur S. 17.
***) Kosmos. Bd. I. S. 378.
****) Atlas, Vorbemerk. Bd. II. S. 231.

mit abnehmender Heftigkeit auch nordwärts verbreitet; Aegypten eigenthümlich sind Augenentzündungen und eine Krankheit, Demeljuja genannt, welche mit Augenentzündung und Kopfschmerz beginnt, und leicht in Raserei und Schlagfluß übergeht. Die Cholera endlich stammt aus Ostindien und hat sich von da bis zu uns fortgepflanzt. Wir haben, ähnlich wie die Cholera, nach und nach mehrere, sonst nicht bei uns heimische Krankheiten bekommen, welche, wie es scheint, bei uns bleibend immer mehr an ihrer pestartigen Heftigkeit und Gefährlichkeit verlieren. So sollen die Menschenpocken aus dem Innern von Afrika, die Masern (572) aus Aethiopien über Arabien und Aegypten, die Syphilis nach der Entdeckung von Amerika von dorther zu uns geschleppt worden sein. Eine Uebersicht der geographischen Verbreitung der vornehmsten Krankheiten, denen der Mensch auf der ganzen Erde ausgesetzt ist, giebt Berghaus *). H. C.

Knallgas, s. Wasserstoff.

Knallsäure, s. Kohlenstoff.

Kniepresse, Siegelpresse, auch Gelenke genannt, ist eine einfache Maschine, welche auf demselben Principe beruht, welches bei der Bewegung des Knies zur Anwendung kommt. Durch beistehende Fig. I. wird dies am Anschaulichsten werden. Es sei AC ein in A drehbarer Hebel und in dem Punkte B desselben sei ein zweiter BD gelenkartig angebracht, dessen Endpunkt D mit dem Preßstempel DE ebenfalls durch ein Gelenke verbunden ist. Der Stempel DE läßt sich nur längs der geraden Linie AF verschieben, und wirkt nun in C auf AC eine Kraft K senkrecht, so wird der Punkt B der Linie AF genähert und D, wenn B bis B′ gekommen ist, bis nach D′ fortgeschoben, dadurch aber auch E nach E′ gedrängt und der zwischen EF befindliche Gegenstand bis auf E′F zusammengepreßt.

I.

Um die Wirkung der in C angebrachten Kraft beurtheilen zu können, wollen wir die Aufgabe allgemeiner stellen. Auf der festen Unterlage AB (Fig. II.) seien AC und BD senkrecht befestigt, in C befinde sich der Drehpunkt des Hebels CEFG, und in E eine Stange EH, welche mit ihrem Ende an den auf AB verschiebbaren Körper (Preßstempel) MN drückt, zwischen welchem und BD die zusammenzudrückende Last liegt. Es sei $AC = h$; $CE = a$; $EH = b$; $HM = d$; $CH = c$; das Perpendikel von C auf EH, also $CR_1 = E_1$; das auf die Kraft K in

II.

*) Atlas, Vorbemerk. Bd. II. S. 232.

G von C gefällte, also CS, $= E_k$; der auf MN in H ausgeübte Druck $= P$; so läßt sich beweisen, daß

$$P = \frac{K \,.\, E^k}{a} \,.\, \frac{\cos(\alpha+\gamma)}{\sin(\alpha+\beta)} \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

und

$$P = \frac{K \,.\, E_k}{c^2}\left(\frac{[c^2+(b+a)(b-a)]\sqrt{(c+h-d)(c-h+d)}}{\sqrt{\Sigma}} - (h-d)\right) \dots (2)$$

ist, wo $\Sigma = s \,.\, (s-2a)\,(s-2b)\,(s-2c)$ ist, wenn $a+b+c$ mit s bezeichnet wird.

Bezeichnen wir $\angle$ EHC mit α, $\angle$ ECH mit β und $\angle$ CHO mit γ, wenn HO senkrecht auf AC steht, so ist $K \,.\, E_k = L \,.\, E_l$, aber $E_l = a \,.\, \sin(\alpha+\beta)$; und zerlegt man den nach EH thätigen Druck L in ET (senkrecht auf AB) und HT (parallel AB), so ist nur HT zum Zusammenpressen wirksam, also $P = L \,.\, \cos(\alpha+\gamma)$; folglich:

$$K \,.\, E_k = \frac{P \,.\, a \,.\, \sin(\alpha+\beta)}{\cos(\alpha+\gamma)}, \text{ daher:}$$

$$P = \frac{K \,.\, E_k}{a} \,.\, \frac{\cos(\alpha+\gamma)}{\sin(\alpha+\beta)} \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Die Seiten des Dreiecks CEH sind a, b und c; also ist $\sin(\alpha+\beta) = \frac{1}{2ab}\sqrt{\Sigma}$ nach bekannten mathematischen Sätzen, und da $\sin\gamma = \frac{h-d}{c}$ und $\cos\gamma = \frac{\sqrt{c^2-(h-d)^2}}{c}$ ist, so wird

$$\cos(\alpha+\gamma) = \frac{(b^2+c^2-a^2)\sqrt{c^2-(h-d)^2}-(h-d)\sqrt{\Sigma}}{2\,bc^2},$$

da $\cos(\alpha+\gamma) = \cos\alpha \,.\, \cos\gamma - \sin\alpha \,.\, \sin\gamma$ ist;
folglich erhalten wir:

$$P = \frac{K \,.\, E_k}{a} \,.\, \frac{(b^2+c^2-a^2)\sqrt{c^2-(h-d)^2}-(h-d)\sqrt{\Sigma}}{2\,bc^2} \,.\, \frac{2\,ab}{\sqrt{\Sigma}}$$

$$= \frac{K \,.\, E_k}{c^2}\left(\frac{(b^2+c^2-a^2)\sqrt{c^2-(h-d)^2}}{\sqrt{\Sigma}} - (h-d)\right)$$

$$= \frac{K \,.\, E_k}{c^2}\left(\frac{[c^2+(b+a)(b-a)]\sqrt{(c+h-d)\,(c-h+d)}}{\sqrt{\Sigma}} - (h-d)\right) \dots (2)$$

Nehmen wir nun an, daß $h = d$ wird, z. B. C und H auf AB liegen, so wird

$$P = \frac{K \,.\, E_k\,[c^2+(b+a)(b-a)]}{c\sqrt{\Sigma}} \,^{*)} \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Um dieses Resultat durch ein bestimmtes Beispiel zu prüfen, wollen wir

*) Emsmann, Physikalische Aufgaben. Leipzig 1852. S. 53. Aufg. 13.

K = 30 Pfund; E_k = 18″; a = 3″; b = 10″ und c = 12″ setzen. Wir erhalten dann P = 217 Pfund. Denken wir nun die Last so weit zusammengepreßt, daß c = 12″,8 wird; so ergiebt sich P = 442 Pfund, so daß in diesem Falle gegen den vorigen sich die bedeutende Zunahme von 225 Pfund ergiebt. In dieser Eigenschaft, daß der Druck zunimmt, je mehr die Preßoperation fortschreitet, beruht der entschiedene Vorzug der Kniepresse vor den übrigen Pressen in allen den Fällen, in welchen der Widerstand immer mehr wächst und nur ein geringes Eindringen des Stempels möglich ist, z. B. bei Siegel- und Münzpressen.

Betrachten wir den in obiger Entwickelung gefundenen Werth (1):

$$P = \frac{K \cdot E_k}{a} \cdot \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\sin(\alpha + \beta)}$$

und bedenken wir, daß wenn b = d ist, $\gamma = o$ wird; so erhalten wir:

$$P = \frac{K \cdot E_k}{a} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Hieraus sehen wir, daß das Längenverhältniß der Schenkel a und b ohne wesentlichen Einfluß ist; vortheilhaft aber wird es sein, a möglichst kurz zu wählen. Ferner ergiebt sich, daß die Wirkung wächst, je kleiner α wird, da dann $\cos(\alpha + \gamma)$, weil γ constant ist, und $\cos \alpha$ einen größeren, $\sin(\alpha + \beta)$ einen kleineren Werth erhält, zumal mit a auch β kleiner wird. Die Wirkung wird mithin um so bedeutender, je mehr a und b in dieselbe Richtung kommen, da $\sin(\alpha + \beta) = \sin \angle CEH$ ist.

Daß die Größe der Zusammendrückung, also der Weg von MN, immer kleiner wird, je mehr sich a und b der geraden Richtung nähern, oder je näher $\angle CEH$ 180° kommt, folgt von selbst aus dem Satze der virtuellen Geschwindigkeiten, da das Product aus dem Drucke der Kraft und dem Wege der Last eine constante Größe bleibt.

Als Beispiel von Kniepressen führen wir an, die in der Buchdruckerei gebräuchliche sogenannte Hagar-Presse, eben so ist die sogenannte Packetpresse, mit deren Hülfe die Wollen- und Baumwollengarne für den Handel in kleinere Packete gebunden werden, eine Kniepresse; ferner gehören hierher die Pressen, deren sich die Buchbinder bedienen, um auf den Bücherdeckeln vertiefte Verzierungen hervorzubringen rc.

In Betreff des Historischen hat Schuberth *) manche interessante Notizen geliefert, und über die Theorie der Kniepresse besitzen wir eine ausführliche Abhandlung von Fechner **). H. E.

Knöpfe, irisirende, s. Inflexion S. 67 ff.

Knoten heißen die scheinbaren Durchschnittspunkte der Bahnen der verschiedenen sich bewegenden Himmelskörper. Gewöhnlich bezieht man sie auf die Ekliptik, so daß hiernach die Knoten diejenigen Punkte sind, in welchen die Planeten, Kometen und ebenfalls der Mond durch die Ebene der Erdbahn hindurch

*) Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 350.
**) Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 501.

gehen. Man unterscheidet den aufsteigenden und den niedersteigenden Knoten; jener, für welchen man das Zeichen ☊ (Drachenkopf) gebraucht, ist der Durchgangspunkt, von dem ab der Weltkörper sich nördlich von der Ekliptik entfernt, dieser, für welchen man das Zeichen ☋ (Drachenschwanz) gebraucht, ist dagegen der Durchgang, von dem ab der Weltkörper auf die Südseite der Erdbahn übergeht, sich also südlich entfernt. Auf der scheinbaren Himmelskugel, auf welcher die Himmelskörper als in derselben Kugelfläche sich bewegende erscheinen, sind die Bahnen derselben größte Kreise, und ihre Knoten erscheinen als die Durchschnittspunkte dieser größten Kreise der Kugel mit der Ekliptik. Verbindet man die beiden Knoten eines Planeten oder Kometen, so geht diese Linie durch die Sonne, und sie wird die Knotenlinie genannt. Da die Lage der Ebenen, in welchen sich die Himmelskörper bewegen, nicht ganz unveränderlich ist, sondern sich — wenn auch wenig und langsam — ändert, so sind auch die Knotenlinien nicht unveränderlich. Am schnellsten geht diese Verrückung der Knoten bei dem Monde vor sich, so daß die Knoten desselben im Laufe von 19 Jahren durch alle Zeichen des Thierkreises und zwar rückwärts, d. h. vom Stier zum Widder, vom Widder zu den Fischen ꝛc. fortrücken. (Vergl. Art. Mond.) Die Bahnen der Planeten schneiden sich zwar nicht wirklich, weil sie in verschiedenen Entfernungen um die Sonne sich herumbewegen; doch nennt man die gemeinschaftliche Durchschnittslinie je zweier Bahnen auch Knotenlinie. Ueber die Möglichkeit, ob die Knoten zweier Himmelskörper in den Durchschnittspunkten zweier Bahnen selbst, nicht blos der Bahnebenen, liegen können, und die dadurch mögliche Collision zweier Himmelskörper verweisen wir auf den Art. Kometen, wo die größere oder geringere Wahrscheinlichkeit des Zusammenstoßes der Erde mit einem Kometen ihre Erledigung findet. H. E.

Knotenlinien, s. Schall.

Knotenmonat, s. Monat.

Koaks, s. Kohlenstoff und Heizung.

Kobalt (Cobaltum). Chem. Zeichen = Co. Aequiv. = 368,65 (O = 100) oder 29,539 (H = 1). Gediegen kommt das Kobalt nur im Meteoreisen in kleiner Menge (0,2 bis 1 Proc.) mit Eisen und Nickel verbunden vor. Hauptsächlich finden wir es in der Natur als Verbindungen mit Arsenik und Schwefel. Die wichtigsten Erze sind der Speiskobalt (Co As) bei Schneeberg und Annaberg in Sachsen, Joachimsthal in Böhmen und Riechelsdorf in Kurhessen und der Kobaltglanz ($Co As + Co S^2$) bei Tunaborg in Schweden, Skutterud in Norwegen, Siegen in Westphalen und Querbach in Schlesien vorkommend. Weniger häufig sind der Kobaltkies ($Co^2 S^3$ oder Co S, $Co^2 S^3$), das Hartkobalterz oder Tesseralkies ($Co^2 As^3$), die Kobaltblüthe (wasserhaltiges arseniksaures Kobaltoxydul), rother (arsenigsaures Kobaltoxydul) und brauner Erdkobalt (wasserhaltiges arseniksaures Kobaltoxydul, Eisenoxyd und Kalk), Kobaltschwärze oder schwarzer Erdkobalt (Kobaltoxydul, Mangansuperoxyd und Wasser) und Kobaltvitriol (schwefelsaures Kobaltoxydul). Die sauerstoffhaltigen Verbindungen sind wohl erst durch Einwirkung der Atmosphäre aus den zuerst genannten Erzen entstanden. Auch in den Selenmineralien des Harzes kommt Kobalt vor. Nach Mazade *) sollen die

*) Compt. rend. T. XXXIV. p. 479.

Mineralwässer von Nérac kleine Mengen Kobalt enthalten und Ossian Henry*) hat dasselbe in mehreren Eisenwässern gefunden.

Als gegen Ende des 15. Jahrh. sächsische Bergleute die Kobalterze auffanden, wußte man sie nicht zu benutzen und weil sie glaubten, der Berggeist (Kobold) habe um sie zu necken diese schweren und metallglänzenden Erze, die viel versprachen, aber doch als unnütz bei Seite geworfen wurden, durch sie auffinden lassen, tauften sie ihren Fund mit dem Spottnamen, den das Metall heute noch trägt. Letzteres wurde zuerst von Brandt 1733 dargestellt; jedoch nur im unreinen Zustande. Die Darstellung des reinen Kobalt ist eine sehr schwierige Operation, weil dasselbe in den Erzen meistens theilweise durch isomorphe Metalle (Eisen, Nickel, Mangan) vertreten ist und außerdem nicht selten noch Wismuth, Kupfer-, Blei- und Silbererze mit beigemengt sind, die alle nur auf chemischem Wege getrennt werden können. Besondere Schwierigkeiten macht die Entfernung des Arseniks und des Nickels.

Zur Darstellung des Kobalts im Großen empfiehlt sich besonders die Methode von Liebig **), nach der man ein arsenik- und eisenfreies Oxyd erhält. Das fein gemahlene und auf das Sorgfältigste geröstete Erz schmilzt man mit 3 Th. saurem schwefelsauren Kali so lange, bis keine weißen Dämpfe mehr aufsteigen. Setzt man der schmelzenden Masse geglühten Eisenvitriol hinzu, so kann man alles Kobalt in Verbindung mit Schwefelsäure durch heißes Wasser ausziehen. Aus der Auflösung fällt man durch kohlensaures Kali das Kobalt als kohlensaures Salz. Die Flüssigkeit enthält schwefelsaures Kali, das durch Abdampfen wieder gewonnen und in saures Salz verwandelt immer wieder von Neuem verwendet werden kann. Antimon, Wismuth und Kupfer, die in dem kohlensauren Kobaltoxydul noch enthalten sein können, werden leicht durch Schwefelwasserstoff entfernt. Nach Louyet ***) aber zersetzt sich das schwefelsaure Eisenoxyd bei Gegenwart von schwefelsaurem Kobaltoxydul nur sehr schwierig, so daß man nicht immer eine von Eisen freie Lösung des Kobaltsalzes erhält. Die Verunreinigung durch Eisen kann man sehr leicht entfernen, wenn man der Lösung frisch gefälltes Kobaltoxydulhydrat hinzusetzt und eine Zeit lang kocht. Dadurch wird das Eisen als Oxydhydrat niedergeschlagen und das Kobalt geht in die Lösung.

Das Metall kann man aus den Oxyden durch Reduciren mittelst Kohle erhalten; jedoch nimmt das Kobalt hierbei Kohle auf. Rein erhält man das Metall durch Glühen des oxalsauren Kobaltoxyduls bei Ausschluß der Luft als eine schwammige oder pulverige Masse, die unter einer Decke von metallfreiem Glaspulver in einem Gebläseofen zu einem Regulus geschmolzen werden kann. Das Metall besitzt eine röthlich weiße, stahlgraue Farbe, ist hart, spröde (besonders wenn noch fremde Körper darin) und auf dem Bruche körnig. Specifisches Gewicht 8,513 — 8,65. Bei gewöhnlicher Temperatur widersteht es der Einwirkung der Luft, in der Glühhitze aber entzündet es sich und verbrennt mit rother Flamme. Wasser wird in der Glühhitze durch das Metall zersetzt. Es wird vom

*) Journ. de Pharm. et de Chim. 3. Sér. T. XXIV. p. 305.
**) Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 464.
***) L'Institut. T. XXI. p. 206.

Magnet angezogen, selbst wenn es frei von Eisen ist, bei einem geringen Gehalt an Arsenik aber ist das Kobalt nicht magnetisch. Faraday hat in neuerer Zeit seine Behauptung, daß der Magnetismus des Kobalts von einem Gehalt an Eisen herrühre, zurückgenommen *). Er führt an, daß das Kobalt durch einen elektrischen Strom leicht dahin gebracht werden kann, mehr als sein eigenes Gewicht zu tragen. Den durch einen Magneten ertheilten bleibenden Magnetismus verliert das Kobalt erst bei weit höherer Temperatur als das Eisen. In verdünnten Säuren löst sich Kobalt nur in der Wärme und auch dann nur langsam auf; in Salpetersäure jedoch schneller. An Kobalt, das zu Draht ausgezogen war, beobachtete Nicklès **) ein dem passiven Eisen gleiches Verhalten, d. h. die geringe Oxydirbarkeit in Berührung mit rauchender Salpetersäure. Diese Passivität dauert nur kurze Zeit, sie kann aber dauernd gemacht werden, wenn man den in einer Flamme blau angelaufenen Draht noch heiß in die Säure bringt. Die Auflösungen des Kobalts zeigen eine schön rothe Farbe. Aus ihnen wird das Kobalt nur durch Zink und Cadmium reducirt, jedoch auch nicht vollständig. Mit Quecksilber liefert es ein Amalgam. Nach Völker ***) ist Kobalt die Ursache der rothen Färbung der Manganoxydulsalze; ja er will sogar in manchen Braunsteinen so viel Kobalt gefunden haben, daß es vielleicht nicht unvortheilhaft wäre, dasselbe daraus zu gewinnen.

Von den Verbindungen des Kobalts mit Sauerstoff ****) führen wir nur das Oxydul (Co O) und das Oxyd ($Co^2 O^3$) an. Das Oxydul wird durch Wasserstoff reducirt; das fein zertheilte Metall entzündet sich aber an der Luft, wenn die Reduction unter der Rothgluth ausgeführt worden ist (cf. Bd. II. S. 616). Es ist ein olivengrünes Pulver, das sich in Säuren, Ammoniak und kohlensaurem Ammoniak mit rother Farbe auflöst. Durch Glühen von Kobalt an der Luft erhält man das Oxydul nicht rein; bei Ausschluß der Luft erhält man es rein aus dem Hydrat oder der kohlensauren Verbindung. Die Kobaltoxydulsalze *****) besitzen im wasserfreien Zustande eine blaue, mit Wasser verbunden meistens aber eine rothe Farbe. Zu erwähnen ist das salpetersaure Kobaltoxydul, dessen man sich vor dem Löthrohre häufig als Reagens bedient. Talkerde wird dadurch schwach

---

*) Phil. Mag. 3 sér. Vol. XXVII. p. 1.

**) Compt. rend. T. XXXVII. p. 284.

***) Liebig's Ann. Bd. LIX. S. 31.

****) Literatur: Winkelblech, über die Kobaltoxyde und ihre Salze, Journ. f. prakt. Chem. Bd. VI. S. 62. — Heß, über das Kobalthyperoxyd (CoO + $C^2 O^3$), Pogg. Ann. Bd. XXVI. S. 542. — Lampadius, über die Verfälschung der Kobaltsaflore oder Zaffer — im Handel vorkommende, unreine Kobaltoxyde — und deren technisch-chemische Prüfung, Journ. f. prakt. Chem. Bd. XIII. S. 385. — Beetz, über die Oxyde des Kobalts und einige Verbindungen derselben, Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 472. — H. Rose, über die Verbindungen, welche durch Glühen des Kobaltoxyds an der Luft entstehen, Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 559. — Frémy, Untersuchungen über das Kobalt, Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXV. p. 257.

*****) H. Rose, über die Verbindungen der Kohlensäure und des Wassers mit dem Kobaltoxyd, Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 547. — Genth, über gepaarte Kobaltverbindungen, Nordamerikanischer Monatsbericht von Keller und Tiedemann. Bd. II. S. 8, auch chem. pharm. Centralblatt 1851. S. 417. — Claudet, über eine Klasse ammoniakalischer Verbindungen des Kobalts, Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIV. S. 270. — Rogojski, über einige neue Kobaltverbindungen, Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVI. S. 491. — Gregory, Liebig's Ann. Bd. LXXXVII. S. 188.

rosenroth, Thonerde schön blau, Zinkoxyd zeisig grün, Zinnoxyd blaugrün, Antimonoxyd schmutzig grün, Titansäure gelblich grün (jedoch nicht so schön wie Zinkoxyd) und Zirkonerde schmutzig violet gefärbt.

Obgleich das Kobaltoxyd ($Co^2 O^3$), auch Sesquioxyd genannt, ähnlich zusammengesetzt ist wie die Oxyde des Eisens und Chroms, so unterscheidet es sich doch dadurch von ihnen, daß es nur in einem geringen Grade fähig ist Salze zu bilden. Das Hydrat wird zwar von den stärkeren Säuren leicht aufgelöst, aber in der Wärme und im Sonnenlicht entwickelt sich sehr bald Sauerstoff, so daß in der Lösung nur ein Oxydulsalz vorhanden ist. Nach Beetz verhält sich das Kobaltoxyd den stärkeren Basen gegenüber als eine schwache Säure.

Aus den Verbindungen des Kobalts mit einem der übrigen Elemente heben wir das Chlorkobalt heraus. Wie die Oxydulsalze besitzt die Lösung desselben eine schöne rothe Farbe, dampft man sie aber ein, so tritt eine blaue Farbe hervor. Aus diesem Grunde benutzt man eine verdünnte, fast farblose Lösung von Chlorkobalt als sympathetische Tinte. Schreibt man damit auf Papier, so sind die Schriftzüge nach dem Trocknen unsichtbar, beim Erhitzen aber treten sie deutlich mit blauer Farbe hervor.

Am leichtesten weist man die Gegenwart des Kobalts durch das Löthrohr nach. Die Borax- und Phosphorsalzperle werden noch durch äußerst geringe Mengen desselben blau gefärbt. Auf nassem Wege erkennt man das Kobalt durch folgende Reactionen: in sauren Lösungen entsteht durch Schwefelwasserstoff kein Niederschlag, wohl aber durch Schwefelammonium sogleich schwarzes Schwefelkobalt (Co S). Ist der Niederschlag einmal entstanden, so löst er sich nicht leicht in Säuren mit Ausnahme von Königswasser auf und dadurch unterscheidet er sich vom Schwefeleisen. Kali bewirkt in Kobaltlösungen anfangs eine blaue Fällung (ein basisches Salz, das durch Sauerstoffaufnahme eine grüne Farbe annimmt). Kocht man den Niederschlag, so geht er in Kobaltoxydulhydrat über; die blaßrothe Farbe desselben erscheint durch das sich hierbei bildende Oxyd ziemlich schmutzig. Sind hinreichende Mengen von Ammoniaksalzen in der Lösung vorhanden, so erhält man durch Kali keinen Niederschlag und dadurch unterscheidet sich das Kobalt vom Nickel. Ammoniak verhält sich ähnlich; der blaue Niederschlag wird aber durch einen Ueberschuß des Fällungsmittels mit braunrother Farbe aufgelöst, die an der Luft nach und nach in eine rothe übergeht. Bei Gegenwart von Ammoniaksalzen oder in sauren Lösungen, wo sich diese bilden, entsteht gleichfalls kein Niederschlag.

Seit dem 16. Jahrh. bedient man sich des Kobalts bei der Darstellung des blauen Glases und der blauen Farben auf Porzellan, Steingut &c. Zu ähnlichen Zwecken ist es bereits von den Griechen und Römern benutzt worden. Ein durch Kobalt blau gefärbtes Glas kommt unter den Namen Königsblau, Eschel, Smalte oder Streublau in großer Menge in den Handel. Bei seiner Darstellung benutzt man geröstete Kobalterze, die mit Quarz und Pottasche zusammen geschmolzen werden. Hierbei scheiden sich die fremden, in den Kobalterzen enthaltenen Metalle (Nickel, Kupfer, Silber, Wismuth) und das Arsenik als Regulus am Boden des Tiegels aus (Kobalt- oder Nickelspeise). Je mehr Kobalt die Smalte enthält, um so schöner ist die Farbe; Nickeloxydul beeinträchtigt letztere jedoch bedeutend, und deshalb ist es von Wichtigkeit alles Nickel beim Schmelzen als Speise abzuscheiden. Dies geschieht, wenn hinreichend Arsenik vorhanden ist. Deshalb röstet

man die Kobalterze nur unvollständig. Ein sicheres Zeichen, daß die Smalte frei von Nickel ist, giebt das Vorkommen kleiner Mengen Kobalt in der Speise ab, weil Arsenkobalt und Nickeloxyd, sobald sie in der geschmolzenen Masse zusammentreffen, sich gegenseitig zersetzen; es bildet sich Arsennickel, das sich abscheidet und Kobaltoxydul.

Die Smalte wird in großen Mengen verbraucht, um den gelben Schein des Papieres und der Wäsche zu vermindern. Man bleicht hier also so zu sagen auf physikalischem Wege, durch Benutzung der Eigenschaft der complementären Farben sich gegenseitig zu Weiß aufzuheben. Dies hat Haumené nachgewiesen durch Mischen einer rothen Kobaltoxydulsalzlösung mit einer grünen Nickeloxydulsalzlösung und dadurch einen neuen Beweis von dem innigen Zusammenhange der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Körper geliefert, indem Wagner *) gefunden hat, daß genau gleiche Aequivalente beider Salze nothwendig sind, wenn die Farben verschwinden sollen.

In der Papierfabrikation hat die Smalte jedoch einen gefährlichen Gegner in dem künstlichen Ultramarin gefunden, weil dessen Farbe bedeutend schöner und der Preis dennoch geringer ist. Zudem hat das Smalte enthaltende Papier die schlechte Eigenschaft, die Feder, mit der man darauf schreibt, sehr bald stumpf zu machen. Der Grund davon liegt in der sehr bedeutenden Härte der Smalte. In der Regel enthält sie geringe Mengen von Arsensäure oder arseniger Säure und daher verbreitet das Papier, welches Smalte enthält, beim Verbrennen den charakteristischen und bekannten Arsengeruch.

Weiter wird das Kobalt in großen Mengen noch zur Darstellung von Farben benutzt. Thénard's Blau ist eine sehr schöne, beständige, aber auch theure Farbe, die lange Zeit als Surrogat für das ächte Ultramarin diente. Das eigentliche Thénard'sche Blau, in der Farbe das schönste, erhält man durch Erhitzen von Thonerdehydrat mit arsen- oder phosphorsaurem Kobaltoxydul. Die Zeit und der Grad der Erhitzung, so wie der Gehalt an Kobalt bedingen den Ton der Farbe; damit er nicht beeinträchtigt werde, müssen die Materialien frei von Eisen und Nickel sein; das erstere ist jedoch wohl nicht so schädlich, wie man allgemein glaubt. Der Vorschriften giebt es sehr viele. Andere blaue Farben (Leithner's **) oder Leydner Blau) stellt man dar, indem man eine Auflösung von eisenfreiem Alaun mit einer Kobaltauflösung mischt und dann mit kohlensaurem Alkali fällt. Der Niederschlag wird sorgfältig ausgewaschen, getrocknet und dann in einem Tiegel geglüht. Nach Louyet ***) muß man hier eine bedeutend höhere Temperatur anwenden, als beim eigentlichen Thénard'schen Blau, wenn die Operation glücken soll. Nach ihm wird die Verbindung der Thonerde mit

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXI. S. 129.

**) Heißt wohl richtiger Geitner's Blau, da der Dr. Geitner in Schneeberg (die Wiege und noch jetzt der Hauptsitz der Kobaltdarstellung in Deutschland) zuerst ungefähr um das Jahr 1818 Kobaltultramarin im Großen darstellte. Wenige Jahre darauf wurde diese Farbe auch in den sächsischen Blaufarbenwerken bereitet, während früher nur Smalte hier angefertigt wurde. Schon bald nach der Mitte des vorigen Jahrhunderts soll ein praktischer Chemiker, Müller in Lößnitz bei Schneeberg, die Bereitung des Ultramarins aus Kobaltoxydhydrat und Thonerde entdeckt haben und von diesem eben war die Vorschrift dazu an Geitner verkauft.

***) L'Institut T. XXI. p. 206, auch Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLVII. S. 402.

dem Kobaltoxydul, also das Entstehen der blauen Farbe, sehr durch die Gegenwart einiger Säuren begünstigt. So erklärt er den Umstand, daß die Darstellung des Thénard'schen Blau sehr oft mißglückt ist, wenn man nicht arsen- oder phosphorsaures Kobaltoxydul angewendet hatte. Oder man befeuchtet Thonerdehydrat mit einer Lösung von salpetersaurem Kobaltoxydul, trocknet und glüht das Gemenge. Alle diese Farben führen auch den Namen Kobaltultramarin. Auf der Münchner Industrieausstellung zeichneten sich besonders die Kobaltultramarine aus Kurhessen durch ihre Schönheit aus. In allen diesen Verbindungen vertritt die Thonerde die Stelle der Säure.

So schön das Ansehen dieser Farben im Tageslichte auch ist, so erscheinen sie doch bei Kerzenlicht schmutzig violet. Dieser Umstand und der theure Preis haben bewirkt, daß das künstliche Ultramarin auch den Kobaltultramarinen bereits sehr gefährlich geworden ist. Dadurch sind die Blaufarbenwerke sehr beeinträchtigt und eine neue Verwendung des Kobalts zu einer schönen gelben Farbe, die der des Jaune indien gleicht und vorzüglich für Oel- und Aquarellmalerei zu empfehlen ist, kann jenen Verlust nicht ausgleichen. Diese neue Farbe ist das von Fischer *) zuerst dargestellte salpetrigsaure Kobaltoxydulkali. Saint-Evre hat später **) dieses interessante Salz genauer studirt. Nach ihm kann man es auf verschiedene Art darstellen: 1) durch Fällen mittelst salpetrigsaurem Kali aus einer mit Salpetersäure versetzten, concentrirten Lösung des salpetersauren Kobaltoxyduls. 2) Wenn man das durch Kali aus einer Lösung von salpetersaurem Kobaltoxydul gefällte blaue basische Salz mit einem geringen Ueberschuß von salpetrigsaurem Kali mengt und nun mittelst einer Pipette einen dünnen Strahl von Salpetersäure darauf fallen läßt. 3) Wenn man einer Lösung von salpetersaurem Kobaltoxydul nur wenig überschüssiges Kali hinzusetzt, so daß rosenrothes Kobaltoxydulhydrat niederfällt und in das Magma (Bodensatz) Stickstoffoxydgas leitet. Der letztere Versuch soll so deutlich und bestimmt sein, daß er zu einem Vorlesungsversuch passend sei. Für die Zusammensetzung dieses Salzes giebt Saint-Evre folgende Formel: $2 \cdot (N^2O^8, CoO, KO) HO$.

Eine andere Farbe, die in dem Handel vorkommt und zu der gleichfalls Kobalt verwendet wird, ist das Riemann'sche Grün, auch grüner Zinnober genannt. Bei der Bereitung mischt man eine eisenfreie Zinkvitriollösung mit der Lösung eines reinen Kobaltoxydulsalzes, fällt durch kohlensaures Kali, wäscht den Niederschlag aus und glüht denselben. W. L.

Kochsalz, s. Natrium.

Königswasser, s. Chlor.

Kohle, s. Kohlenstoff.

Kohlensäure, s. Kohlenstoff.

Kohlenstoff, Carboneum, franz. Carbone, engl. Carbon. Chemisches Zeichen = C. Aequivalent = 75,12 (O = 100) oder 6,019 (H = 1). Ein einfacher, nicht metallischer Körper, der zuerst als solcher von Lavoisier 1781 erkannt wurde. Der Kohlenstoff findet sich, wenn auch nicht rein, in der Natur weit verbreitet und zwar in verschiedenen Zuständen krystallisirt und amorph.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 124.

**) Compt. rend. T. XXXIII. p. 166. u. T. XXXV. p. 552.

Diese sind: der Diamant (s. d. Art.), Graphit und die gewöhnliche Kohle, wie sie namentlich beim Holz zurück bleibt, wenn es bei Ausschluß der Luft erhitzt wird. Berzelius bezeichnet diese verschiedenen allotropischen Zustände mit den griechischen Buchstaben α, β und γ. Sorby hat dagegen in neuerer Zeit einen Tetramorphismus des Kohlenstoffs aufgestellt *). Als die vier verschiedenen Modificationen desselben betrachtet er: 1) den Diamant (regulär, Grundform Octaëder), 2) den Graphit (hexagonal), 3) harte Koks (regulär, Grundform Würfel) und 4) Anthracit (quadratisch). Er giebt an, daß die Krystallformen der beiden letzteren oft kenntlich seien, wenn man die Substanzen mit etwas Kreide fein pulvere, das Pulver durch Behandeln mit Säure von der Kreide wieder befreie und den Rückstand dann unter ein Mikroskop bringe. Holzkohle und Kienruß gehören nach Sorby wahrscheinlich zu der Anthracitmodification.

In großer Menge findet sich der Kohlenstoff in den Steinkohlen, den Braunkohlen und dem Torfe, so wie er auch zu den wenigen Elementen gehört, aus denen die große Zahl der organischen Körper (Pflanzen und Thiere) gebildet werden. Die sogenannte schwarze Kreide (Zeichnenschiefer) erhält ihre abfärbende Eigenschaft durch einen Gehalt von Kohle, der in der, welche im Bayreuthischen gefunden wird, $17^1/_2$ Proc. beträgt. Auch in den Meteorsteinen kommt Kohle vor.

Der Graphit (Wasserblei, Reißblei, plombagine, plumbago) findet sich in Gängen im Ur- und Uebergangsgebirge, namentlich im Granit, Gneiß und Kalk. Besondere Fundstätten desselben sind: Borrowdale in Cumberland, Passau, Marburg, Ypş; außerdem findet er sich in Oesterreich, Mähren und Spanien. Der Graphit von Borrowdale war sehr berühmt; doch jetzt sind die dortigen Gruben fast ganz erschöpft und die geringe Ausbeute ist noch dazu von so schlechter Beschaffenheit, daß der Cumberland-Graphit seinen alten Ruf ganz verloren hat. Jetzt wird sogar aus Deutschland Graphit in England eingeführt. In neuerer Zeit sind auf Ceylon und am Himalaya Lager eines vorzüglich reinen Graphites entdeckt.

Nicht immer kommt der Graphit krystallisirt (sechsgliedrig) vor; man findet ihn auch in dichten Massen. Die Farbe ist eisenschwarz bis dunkelstahlgrau; er besitzt einen Metallglanz und verbrennt, selbst im Sauerstoffstrom viel schwieriger als der Diamant. Das specifische Gewicht variirt zwischen 1,8 bis 2,09. Der Graphit ist ein besserer Leiter der Wärme, als der Diamant und ein guter Leiter der Elektricität, weshalb er auch in der Galvanoplastik zum Ueberziehen der Formen aus nicht leitenden Stoffen verwendet wird. Der natürliche Graphit ist mehr oder weniger verunreinigt, hauptsächlich durch Kieselsäure, Thonerde und Eisen. So hinterläßt z. B. der Cumberland-Graphit beim Verbrennen 13,1 Proc. Asche; Regnault fand in einem deutschen Graphit nur 5,73 Proc. Asche. Das Verbrennen des Eisens gab früher zu der Ansicht Veranlassung, daß der Graphit ein Kohleneisen sei, obgleich schon Scheele die Unrichtigkeit dieser Annahme dargethan hatte. Berthier und Karsten haben ferner gezeigt, daß das Eisen im oxydirten Zustande im Graphit enthalten ist und daher kann von einer Verbindung beider keine Rede sein. Eben so hat Sefström durch directe Versuche

*) Edin. Phil. Journ. Vol. L. p. 149. Liebig's Jahrb. 1851. S. 307.

nachgewiesen, daß der Graphit reine Kohle ist. Aus Graphit, der nicht zu sehr verunreinigt ist, läßt sich durch Kochen mit Salzsäure und Königswasser, durch Schmelzen mit Kalihydrat und Erhitzen in einem Strome von Chlorgas das Eisen vollständig und die Kieselsäure bis auf etwa $^1/_2$ Proc. entfernen. Nach Rogers*) wird der Graphit durch chromsaures Kali und Schwefelsäure zu Kohlensäure oxydirt und auf diese Art der Kohlenstoff darin quantitativ bestimmt.

Beim Hohofenbetrieb scheidet sich oft der Kohlenstoff aus dem Roheisen als Graphit aus; mitunter in schönen hexagonalen Tafeln, aber nicht immer so rein, daß beim Verbrennen keine Asche zurückbleibt. Oft erhält man hier auch den Graphit in haarförmigen Gebilden. Auch in den Spalten und Höhlungen der Wände der Hohöfen setzt sich zuweilen Graphit ab und deshalb glaubt Regnault**), daß der in der Natur vorkommende Graphit sich aus gasförmigen Verbindungen in den Spalten und Höhlungen der erhitzten Gebirge abgelagert habe. Eben so bildet sich Graphit, wenn man Steinkohlengas über glühendes Eisen leitet. Hierbei erhielt Macintosh den Graphit in glänzenden und biegsamen Fäden, die in einer Länge von einem Zoll und darunter bis zu acht Zoll und in der Dicke eines Pferdehaares bis zu der des feinsten Spinnenfadens parallel in Büscheln neben einander lagen. Ja einige Fäden waren so zart, daß, wie Colquhoun sich ausdrückt, eine einzige Locke dieses mineralischen Haares wohl aus tausenden derselben bestand. In den Retorten, die zur Darstellung des Leuchtgases dienen, scheidet sich bei der Berührung des Gases mit dem glühenden Eisen der Kohlenstoff gleichfalls als Graphit aus, und oft besitzt er solche Härte, daß er am Stahl Funken giebt.

Man verwendet den Graphit hauptsächlich zu Bleistiften, die theils aus den größeren Stücken direct geschnitten, theils aus Pulver mit Hülfe eines Bindemittels (Thon) oder durch bloßen Druck (von 20000 Ctr.) verfertigt werden; ferner zur Darstellung von Schmelztiegeln, als Anstrich bei Eisen (namentlich Oefen) und zur Verminderung der Reibung bei Maschinen.

Ueber Steinkohlen, Braunkohlen und Torf siehe den Art. Heizung.

Die künstliche Darstellung von Kohle aus verschiedenen pflanzlichen oder thierischen Stoffen bildet einen wichtigen Zweig unserer Industrie. Beabsichtigt man bei dieser Zersetzung der verschiedenartigsten organischen Verbindungen durch die Hitze bei Ausschluß der Luft vornehmlich die Gewinnung von Kohle, so nennt man den Proceß Verkohlung, trockne Destillation aber, wenn es mehr auf eine Gewinnung der hierbei gleichzeitig entstehenden flüchtigen Producte abgesehen ist. Auch bei dem letzteren Vorgange bleibt in der Regel Kohle im Rückstande, weil sie in der ursprünglichen Verbindung im Ueberschuß vorhanden war, d. h. es war darin nicht so viel Wasserstoff und Sauerstoff zugegen, um mit der ganzen Menge des Kohlenstoffs flüchtige Verbindungen bilden zu können. Je nach den Substanzen, aus welchen die Kohle erzeugt worden ist, treten sowohl in dem äußern Ansehen, als auch in den Eigenschaften bedeutende Unterschiede auf. In Bezug auf ersteres unterscheiden wir eine matte, höchst poröse und eine glänzende, blasige,

*) Sill. amer. Journ. ser. 2. Vol. V. p. 352. Journ. für prakt. Chemie. Bd. L. S. 411.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XIII. S. 88.

weit weniger poröse Kohle. Erstere bleibt bei Substanzen zurück, die in der Hitze nicht schmelzen. Sie zeigt die Structur der Substanzen, aus denen sie gewonnen wird, vollkommen erhalten, wie z. B. die Holzkohle. Die glänzende, blasige Kohle resultirt aus Substanzen, wie Zucker, Harze rc., die in der Hitze schmelzen.

Die verschiedenen Arten der Kohle, die im Großen zu mannichfachem Gebrauch dargestellt werden, sind folgende: Koks, Glanzkohle aus schmelzenden stickstofffreien organischen Substanzen, Kienruß, Holzkohle, thierische Kohle (Blutkohle) aus stickstoffhaltigen thierischen Abfällen und die Knochenkohle.

Kienruß nennt man eine sehr fein zertheilte Kohle, die man bei der unvollständigen Verbrennung von Fett, Oel, Harz, harzreichem Holz oder Steinkohlen gewinnt. Er wird meistens als Farbe verbraucht. Zu diesem Zweck wird der käufliche, unreine Kienruß in wohlverschlossenen Tiegeln oder eisernen Cylindern geglüht und der Rückstand durch verdünnte Salzsäure ausgezogen, die wiederum durch Wasser vollständig entfernt wird. Die bekannte chinesische Tusche ist eine fein zertheilte Kohle, die beim unvollständigen Verbrennen von Sesamöl gesammelt wird. Mit Hülfe von Gummiwasser formt man die Kohle.

Wegen der Unveränderlichkeit der Kohle bezüglich der verschiedensten chemischen Einwirkungen ist sie als Farbe und Zeichnenmaterial sehr geschätzt. Sie liefert auch die Druckerschwärze. Eine solche Kohle bereitet man auch vielfach auf dem gewöhnlichen Wege, d. h. durch Erhitzen vegetabilischer Stoffe in abgeschlossenen Räumen. Besonders geschätzt sind das Frankfurter Schwarz (aus Traubenkämmen, Weinhefe, Pfirsichsteinen, Abfällen von Knochen und Elfenbein) und die Kohle aus Rebholz und Korkabfällen.

Holzkohle. Die Verkohlung des Holzes vollführt man im Großen auf verschiedene Weise, je nachdem man gleichzeitig die flüchtigen Producte (Theer, Essigsäure rc.) sammeln will oder nicht. Nimmt man auf diese keine Rücksicht, so verkohlt man das Holz in Meilern (eine Operation, die schon Plinius beschrieben hat) oder Haufen. Diese Art der Verkohlung ist noch heute vielfach in Anwendung und wird es auch lange noch bleiben, da sie eine dichtere und folglich eine größere Hitze liefernde Kohle giebt. Theils um eine größere Ausbeute an Kohlen, theils um gleichzeitig die flüchtigen Producte der trockenen Destillation zu gewinnen, nimmt man die Verkohlung auch in Gruben oder in Oefen vor. Der Hauptzweck dieser Operation ist, die Feuchtigkeit und den Sauerstoff, die beide den Grad der Hitze, welche das Holz bei der Verbrennung liefert, beeinträchtigen, zu entfernen. Man erhält also in diesem Sinne ein besseres Brennmaterial und hat zugleich noch den Vortheil, daß die Transportkosten verringert werden, weil der Rückstand (die Kohlen) einen bei weitem geringeren Raum einnimmt als das Holz, aus dem sie dargestellt worden sind.

Auf die Beschaffenheit der Holzkohle haben die verschiedensten Umstände einen großen Einfluß. Selbst von denselben Holzarten fällt die Kohle je nach dem Alter und dem Standorte des Holzes und der Temperatur, bei der das Holz verkohlt worden ist, sehr verschieden aus. Harzfreies und saftarmes Holz liefert eine mehr poröse Kohle als harz- und saftreiches, weil die Harze und Bestandtheile des Saftes bei der Verkohlung eine Schmelzung erleiden. Von Bedeutung für die Ausbeute ist auch der Wassergehalt des Holzes; der Ertrag an Kohlen wird dadurch verringert, indem sich der Wasserdampf bei Gegenwart glühender Kohlen zerlegt und einen bedeutenden Theil des Kohlenstoffs als Kohlenoxydgas fortführt.

Aus diesem Grunde ist es auch vortheilhaft, die Verkohlung nur langsam ins Werk zu setzen, damit möglichst viel Wasser als solches entweichen kann.

Die dichteren Holzarten geben eine dichtere, die leichteren eine leichtere Kohle; erstere brennen bedeutend schwerer als letztere, weil sie die Wärme besser leiten als diese. Auf die Dichte der Kohle hat auch die Temperatur einen großen Einfluß; je mehr man sie steigert, um so dichter wird die Kohle und daher auch ein um so besserer Leiter für die Wärme und Elektricität, während sie um so schwerer sich entzünden läßt. Gewöhnliche Holzkohlen, selbst in kleinen Stücken, kann man, weil sie eben schlechte Leiter der Wärme sind, ohne Beschwerde in der Hand halten oder sie berühren, selbst wenn sie an dem einen Ende glühen. Bei dichteren Kohlen ist dies nicht der Fall. So fand Berzelius unter Schlacken Kohlen, die unverbrannt aus dem Hohofen wieder herausgekommen waren. Von diesen wurden Stücke von über $5^3/_4$ Zoll Länge vor dem Löthrohr so heiß, daß man sie nicht in der Hand halten konnte.

Mit besonderer Sorgfalt stellt man die Kohlen dar, welche bei der Bereitung des Schießpulvers verwendet werden, denn von ihrer Beschaffenheit, namentlich von der Lockerheit, die eben die leichte Entzündlichkeit bedingt, hängt die Güte des Schießpulvers ab. Man wählt hierzu die leichteren Holzarten (Ellern-, Pappel-, Linden-, Weiden-, Kastanien-, Faulbaum-, Haselholz) oder andere Pflanzen (Hanf) aus, die eine sehr lockere Kohle geben. Um eine möglichst gleichmäßige Kohle zu erhalten, nimmt man am besten Zweige von 1 bis 2 Zoll Stärke, die entrindet und in Gruben oder eisernen Retorten verkohlt werden. Die auf erstere Art erhaltene Kohle ist dichter und schwarz, weniger gleichmäßig und dient daher zu den geringeren Sorten; beim Verkohlen in Cylindern erhält man eine mehr braune Masse, die den Namen Kohle eigentlich nicht verdient. Sie enthält bedeutende Mengen von Wasserstoff, ist sehr locker und daher sehr entzündlich.

In neuester Zeit hat Violette ausführliche Untersuchungen über die Darstellung der Holzkohlen angestellt, auf die wir verweisen. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIV. S. 313 und Bd. LVI. S. 332.

Thierische Kohle (Blutkohle, Knochenkohle, gebranntes Elfenbein, Ebur ustum). Hauptsächlich verwendet man hierzu Knochen, die im Mittel circa 41 Proc. organische, also Kohle liefernde Substanz enthalten. Bei der Verkohlung der Knochen bilden sich gleichfalls flüchtige Producte (Theer und ammoniakalisches Wasser), während als Rückstand Kohle gemischt mit den unorganischen Bestandtheilen der Knochen (der sogenannten Knochenerde, zumeist aus phosphorsaurem Kalk bestehend) bleibt. Auf die Gewinnung der flüchtigen Producte kann man nicht immer Rücksicht nehmen, da oft die daraus zu gewinnenden Fabrikate einen geringen Werth haben. Im anderen Falle ist auch die Einrichtung der Verkohlungsapparate einfacher und wird bedeutend an Brennmaterial gespart. Die Verkohlung nimmt man in eisernen Tiegeln oder in solchen aus Thon vor, von denen man eine größere Zahl in einem Ofen erhitzt. Eine genaue Regulirung der Temperatur ist hier von der größten Wichtigkeit; die Hitze muß gleichmäßig sein und gerade genügen. War sie zu schwach oder hielt sie nicht lange genug an, so enthält die Kohle noch organische Verbindungen, die sich beim Gebrauch der Kohle behufs der Entfärbung sehr störend geltend machen, indem sie es dann gerade sind, welche den Flüssigkeiten Farbe, außerdem aber auch einen widerlichen Geruch mittheilen. War die Hitze

zu stark, so wird die Kohle zu dicht und büßt dadurch bedeutend an Güte als Entfärbungsmittel ein.

Außerdem werden noch mancherlei andere thierische Abfälle (Leder, Horn, Hufe, Blut 2c.) verkohlt. Wegen des Stickstoffgehaltes dieser Substanzen ist dieser auch in der Kohle enthalten. Gewöhnlich macht man daher bei der Verkohlung einen Zusatz von kohlensaurem Kali; es bildet sich dann Cyan, welches mit dem Kalium eine Verbindung eingeht, die durch Wasser ausgezogen werden kann.

Die verschiedenen Arten der Kohle, die wir besprochen haben, enthalten noch mancherlei Verunreinigungen, so daß sie nicht als reiner Kohlenstoff zu betrachten sind. Solchen erhält man auf verschiedene Art: durch Glühen von Ruß aus Oelen in verschlossenen Gefäßen, durch Zersetzung des ölbildenden Gases durch glühendes Eisen oder der Dämpfe von ätherischen oder empyreumatischen Oelen, die man durch glühende Porzellanröhren gehen läßt, oder durch Zersetzung der Kohlensäure in ihren Verbindungen mit Oxyden, z. B. dem Kali oder Natron, vermittelst Kalium oder Phosphor, welche der Kohlensäure den Sauerstoff entziehen.

So große Verschiedenheiten die aufgezählten Arten der Kohle im äußern Ansehen und in ihren Eigenschaften auch zeigen, so muß man den darin enthaltenen Kohlenstoff, wenn er auch in verschiedenen Modificationen auftritt, doch für identisch halten, denn alle diese verschiedenen Arten der Kohle oder des Kohlenstoffs liefern genau dieselben chemischen Verbindungen. Die Kohlensäure, das Product der Verbrennung des Kohlenstoffs ist dieselbe, ob man Diamant, Graphit oder die verschiedenen Arten der gewöhnlichen Kohle verbrannt hat. Berzelius hat zwar die Ansicht ausgesprochen, daß die verschiedenen Modificationen des Kohlenstoffs eigenthümliche chemische Verbindungen eingehen können, doch ist dies keineswegs erwiesen. Er folgerte dies aus dem Umstande, daß, der Regel entgegen, die Oxalsäure ($C^2 O^3$) trotz ihres geringeren Sauerstoffgehaltes eine stärkere Säure ist als die Kohlensäure. In einigen Eigenschaften stimmen alle Arten der Kohle außerdem noch überein; sie sind alle geruch- und geschmacklos und lassen sich weder schmelzen noch verflüchtigen, d. h. bei Anwendung unserer gewöhnlichen Mittel. Despretz hat nachgewiesen, daß dieser Ausspruch seine Richtigkeit verliert, sobald sich verschiedene Wärmequellen unterstützen. Bei einer ersten Versuchsreihe *) bogen sich nadelförmige Stücke von Anthracit (von 1^{mm} Dicke und 3^{cm} Länge), als er eine Batterie von 185 Bunsen'schen Paaren gewöhnlicher Größe und ein Brennglas von 90^{cm} Durchmesser darauf wirken ließ. Später gelang es ihm selbst **), bei Anwendung einer bedeutend größeren Zahl Bunsen'scher Paare, die Kohle im luftleeren Raum zu verflüchtigen; sie setzte sich an den Wandungen des Glases als schwarzes krystallinisches Pulver ab. In Gasen tritt gleichfalls, wenn schon langsam, eine Verflüchtigung der Kohle ein. Bei dieser Temperatur kann die Kohle noch zusammengeschweißt und geschmolzen werden. — Ein Auflösungsmittel für die Kohle giebt es nicht.

---

*) Compt. rend. T. XXVIII. p. 755.

**) Compt. rend. T. XXIX. p. 47 u. 709. T. XXX. p. 367. u. T. XXXVII. p. 369 und 443.

Ueber die Anwendung der Kohle als Brennmaterial s. d. A. Heizung.

Durch die große Porosität, welche die Kohle im Allgemeinen besitzt, erlangt sie einige bemerkenswerthe Eigenschaften, die vielfache nützliche Anwendungen der Kohle zulassen. Fontana entdeckte zuerst, daß glühende Kohle, welche in Quecksilber abgelöscht oder auf andere Art bei Ausschluß der Luft abgekühlt worden, von verschiedenen Gasarten bedeutende Mengen verschluckte, welche das Volumen der Kohle um Vieles überstiegen. Moroggo fand *), daß diese Absorption verschieden sei, nach Verschiedenheit der Gasarten und der Kohle selbst. Die Holzkohle absorbirt im Allgemeinen größere Mengen der Gase als die dichtere thierische Kohle oder die Koks; doch finden bei ersterer auch wieder große Unterschiede statt. Leichte Kohlen, welche sehr große Poren besitzen, wie z. B. die Kohle von Fichtenholz, absorbiren eben so wie sehr dichte Kohlen nur geringe Mengen der Gase. Es kommt hierbei ferner auf den Zustand der Zerkleinerung der Kohlen an; feines Pulver, bei welchem durch das Zerstoßen die Zahl der Poren zu sehr vermindert worden ist, oder große Stücke, bei denen nicht alle Poren geöffnet sind, absorbiren weniger Gas. Am geeignetsten sind kleinere Stücke. Sobald die Poren der Kohle mit einem Gase erfüllt sind, nehmen sie von den Gasarten, die sie in größerer Menge verschlucken, nur einen verhältnißmäßig kleinen Theil in sich auf. Will man daher die Kohle zu diesem Zweck benutzen, so muß sie stets frisch geglüht werden, um die in den Poren enthaltene Luft auszutreiben und beim Abkühlen muß man, wie oben bereits angegeben, den Zutritt der Luft sorgfältig abschließen. Je größer die Dichtigkeit des luftförmigen Körpers, je niedriger die Temperatur, desto größer ist auch unter sonst gleichen Umständen die Absorption. Eine chemische Verbindung mit dem Kohlenstoff findet hierbei jedoch nicht statt. Saussure zeigte **), daß diese merkwürdige Eigenschaft nicht den Kohlen allein, sondern den porösen Körpern im Allgemeinen zukomme. Bei den von ihm hierüber angestellten Versuchen absorbirte frisch ausgeglühte Buchsbaumkohle unter allen Körpern das meiste Gas; und zwar bei einer Temperatur von 11 bis 13° und einer Barometerhöhe von 0,724 Meter binnen 24 bis 36 Stunden:

Ammoniakgas	90	Volumen.
Salzsaures Gas	85	"
Schwefligsaures Gas	65	"
Schwefelwasserstoffgas	55	"
Stickstoffoxydulgas	40	"
Kohlensaures Gas	35	"
Oelbildendes Gas	35	"
Kohlenoxydgas	9,42	"
Sauerstoffgas	9,25	"
Stickstoffgas	7,5	"
Wasserstoffgas	1,75	"

Man benutzt daher frisch ausgeglühte Kohlen mit Vortheil, um üble Gerüche in Stuben, Kellern, Latrinen rc., oder schädliche Gasarten, z. B. Kohlensäure

*) Lichtenberg's Magazin. Bd. II. St. 2. S. 7 und St. 3. S. 72. Gilb. Ann. Bd. XVII. S. 239.

**) Gilb. Ann. Bd. XLVIII. S. 113.

in Brunnenschächten, Kellern und sonstigen Räumen, in welchen sich gährende Flüssigkeiten befinden, zu entfernen.

Ueber die Wärmemengen, welche bei der Absorption von Gasen durch Kohle frei werden, haben Favre und Silbermann Untersuchungen angestellt *). Ein Gramm Kohle absorbirte:

salzsaures Gas	69,2	Kubikcent.
schwefligsaures Gas	83,2	"
kohlensaures Gas	45,2	"

Hierbei entwickelten

1 Grm. salzsaures Gas	332,5	Wärmeeinh.
schwefligsaures Gas	139,9	"
kohlensaures	129,6	"

Mitscherlich, der diese Erscheinungen sorgfältig studirt hat, gelangte hierbei zu dem Schluß, daß ein Theil des Gases, bei der Kohlensäure z. B., sich im flüssigen Zustande in den Poren befinden müsse. Neuere Untersuchungen von Favre **) führen jedoch weiter, als die Annahmen von Mitscherlich; sie lassen selbst den festen Zustand der Kohlensäure in den Zellen zu.

Schon früher war bekannt, daß die Kohle bedeutende Mengen von Wasserdampf aus der Luft in sich aufnehme, wodurch sie natürlich eine bedeutende Gewichtszunahme erleidet. Versuche hierüber sind namentlich von Allen und Pepys und von Rau angestellt. Nach ersteren wurde während einer Woche an Wasserdampf aus der Luft dem Gewichte nach absorbirt:

durch Kohle von Franzosenholz	9,6 Proc.
" Kienholz	13,0 "
" Buchsbaumholz	14,0 "
" Buchenholz	16,3 "
" Eichenholz	16,5 "
" Mahagonyholz	18,0 "

Rau giebt an, daß unter 39 Arten Kohle die größte Absorption binnen 24 Stunden die Kohle der Schwarzpappel und der orientalischen Platane (16,3 Proc.), die geringste die Kohle des Wallnußbaums (0,9 Proc.) und der Weißbuche (0,8 Proc.) zeigten. Dieser Wassergehalt, welchen die Kohle beim Lagern an der Luft in sich aufnimmt, wirkt jedoch beim Verbrennen nicht schädlich, sondern steigert vielmehr die Heizkraft der Kohle, indem das Wasser durch die glühenden Kohlen zersetzt wird und das brennbare Wasserstoffgas zur Erhöhung des Wärmeeffectes mit beiträgt.

Ausgeglühte Holzkohle besitzt ferner noch eine zweite wichtige Eigenschaft; sie nimmt auch aus Flüssigkeiten sowohl Farbe und Extractivstoffe, als auch riechende Stoffe in ihre Poren auf ***). Die erste Entdeckung rührt von Lowitz her

*) Compt. rend. T. XXIX. p. 449.

**) L'Instit. No. 1086. p. 367.

***) Gilb. Ann. Bd. XIII. S. 103. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XI. S. 243. B. XV. S. 430. Bd. LV. S. 474. Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 330. Verhandlungen des Vereines zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen 1823. S. 145 u. 174. Dingler's polytechn. Journ. Bd. IX. S. 223.

1790, der auf diese Art Indigolösung, Syrup, Safran und Krappaufguß entfärbte. Man machte bald von dieser wichtigen Eigenschaft in der Industrie Gebrauch; jetzt in einem sehr ausgedehnten Maße, besonders in Zuckerfabriken zur Entfärbung des Syrups.

Auch hier zeigen sich wieder große Verschiedenheiten nach beiden Seiten hin; einmal wirken die verschiedenen Kohlen in einem verschiedenen Maße entfärbend, dann aber verhält sich ein und dieselbe Kohle gegen verschiedene Farbstoffe verschieden. Figuier bestätigte 1810 die bereits früher von Kels *) gemachte Entdeckung, daß Knochenkohle besser entfärbe als Holzkohle. Dies rührt davon her, daß in ersterer die Kohlentheilchen durch den gleichzeitig vorhandenen phosphorsauren Kalk auf das Feinste zertheilt und dadurch besonders geschickt werden, die Farbstoffe in sich aufzunehmen. Auf ähnliche Art kann man auch der Pflanzenkohle ein größeres Entfärbungsvermögen ertheilen, wenn man die Holztheilchen vor dem Verkohlen mit erdigen Substanzen mischt. Daher entfärbt auch ausgeglühte Braunkohle besser als gewöhnliche Pflanzenkohle. Besonders wirksam ist die Kohle, welche bei der Bereitung des Blutlaugensalzes zurückbleibt. Im allgemeinen entfärben alle Kohlen, welche ein glänzendes Ansehen haben, schlechter als die Kohlen, die ein mattes erdiges Ansehen haben.

Bussy hat verschieden bereitete thierische Kohlen in Bezug auf das Entfärbungsvermögen für verschiedene Farbestoffe (Indigolösung und Syrup) geprüft und hierbei folgende Resultate erhalten:

	Entfärbungsvermögen	
	für Indigolösung	für Zuckerlösung
Gewöhnliche Knochenkohle	1,0.	1,0.
Knochenkohle mit Salzsäure behandelt	1,9.	1,6.
" " " " und dann mit Pottasche geglüht	45.	20.
Geglühter Kienruß	4.	3, 3.
Kienruß mit Pottasche geglüht	15,2	10, 6.
Blut mit phosphorsaurem Kalk geglüht	12.	10.
" " kohlensaurem Kalk geglüht	18.	11.
" " Pottasche geglüht	50.	20.
Eiweiß oder Leim mit Pottasche geglüht	35.	15, 5.

Weitere Angaben über die Wirksamkeit verschiedener Kohlen hinsichtlich der Entfärbung von Lösungen der Alkaloide hat Guthe gegeben **). Die mit Chlorwasserstoffsäure gereinigte, nicht geglühte, noch feuchte Knochenkohle zeigte sich hierbei am geeignetsten.

Das Entfärbungsvermögen kommt der Kohle eben so wenig ausschließlich allein zu, als die Absorption der Gase. Mehrere andere Körper, wie Thonerde, Mergelschiefer, auf nassem Wege bereitetes Schwefelblei, Bleioxydhydrat ꝛc. besitzen gleichfalls die Eigenschaft, Flüssigkeiten zu entfärben. Hierauf beruht ja die Darstellung der Farblacke. Zwar ist man meistens geneigt, die Wirkung der Oxyde auf die Farbstoffe bei der Bereitung der Lacke mehr als eine chemische

*) Crell's Ann. 1792. Bd. I. S. 198.
**) Arch. d. Pharm. Bd. CXIX. S. 131.

anzusehen, Berzelius jedoch reiht sie der der Kohle an. Fiehol zeigt *), daß die Zahl der Körper, die mit Entfärbungsvermögen begabt sind, weit größer ist, als man gewöhnlich glaubt und daß diese Eigenschaft weit mehr von dem Zertheilungszustand der Körper abhängt, als von den chemischen Qualitäten derselben. Er giebt eine reichhaltige Zusammenstellung solcher Körper mit den Resultaten ihres Verhaltens gegen Lackmustinktur und indigblauschwefelsaures Natron.

Der Farbstoff wird hier nicht wie bei anderen chemisch wirkenden Mitteln zerstört, auch geht er keine chemische Verbindung mit dem Kohlenstoff ein, sondern er wird einfach nur in die Poren aufgenommen. Durch Wasser oder andere passende Auflösungsmittel kann man ihn daher wieder entfernen. Ein solches Entziehen des Farbstoffes muß zeitweise geschehen, wenn man ein und dieselbe Kohle unausgesetzt gebrauchen will, denn sobald die Poren gefüllt sind, hört das Entfärbungsvermögen ganz auf. Durch besondere Operationen, die man das Wiederbeleben nennt, ertheilt man der Kohle die frühere Wirksamkeit wieder mit. Zu diesem Zwecke entzieht man der Kohle die aufgenommenen Stoffe entweder durch Auflösen oder man zerstört dieselben durch Gährung oder durch Glühen.

Diese Eigenschaft der Kohle verwendet man in der Technik außer in der Zuckerfabrikation noch auf vielfache Weise. So z. B. um Honig oder andere süße Säfte zu klären, um Essig zu entfärben, bei d r Darstellung der Pflanzensäuren, verschiedener Salze rc. Oft ist hier der Kalkgehalt der Knochenkohle von nachtheiliger Einwirkung; er wird daher durch Salzsäure entfernt oder man wendet Holzkohle an.

Außer den Farbstoffen zieht die Kohle aus Flüssigkeiten auch den Geruch an sich, so daß man selbst stark riechende Flüssigkeiten wie Parfümerien rc. ganz geruchlos machen kann. Daher wendet man die Kohle namentlich zur Entfuselung des Branntweins an. In großen Städten, die ihren Bedarf an Wasser aus den Flüssen nehmen müssen, in welche aller Unrath abgeführt wird, reinigt man das Wasser durch Filtration mittelst Kohle. Die Fässer, welche den Wasservorrath für lange Seereisen enthalten, werden innen verkohlt, damit das Wasser für lange Zeit gut erhalten bleibt. Auch Wein soll in solchen Fässern lange Zeit gut bleiben. Fleischbrühe, die einen unangenehmen Geruch angenommen hat, wird durch Kohle davon befreit und wiederum genießbar gemacht.

Ueberhaupt wirkt die Kohle stark fäulnißwidrig. Fleisch in Kohlenpulver eingepackt, erhält sich lange Zeit unverändert. Selbst in Krankheiten, wo stinkende Ausflüsse auftreten, beim Brande, eiternden Wunden, wendet man frischgeglühtes Kohlenpulver mit Vortheil an, um die ekelhaften Gerüche aufzuheben. Stenhouse macht darauf aufmerksam **), daß die Wirkung der Holzkohle auf die complicirten Fäulnißproducte, nämlich diese zu oxydiren und in die einfachsten Verbindungen überzuführen, noch lange nicht genügend beachtet werde, um die schädliche Einwirkung dieser Producte auf den thierischen Organismus aufzuheben. Er theilt mit, daß Turnbull, der die Cadaver zweier Hunde zwischen zwei nur wenige Zoll tiefe Schichten von Kohlenpulver gebracht hatte, durchaus keine an Fäulniß erinnernde Ausdünstungen wahrnahm, obgleich nach

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 330.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XC. S. 186.

6 Monaten mit Ausnahme der Knochen fast Nichts mehr von den Thieren übrig geblieben war. Die Kohle kann also sehr nützlich angewendet werden, um die Verbreitung schädlicher Effluvien von Kirchhöfen oder todten Körpern überhaupt zu verhindern. Würde man, meint Stenhouse, einen Kirchhof zwei bis drei Zoll hoch mit gröblich gepulverter Holzkohle überdecken, so würde hierdurch verhindert werden, daß irgend welche flüchtige Fäulnißproducte sich in die Atmosphäre verbreiten. Er hat hierdurch Veranlassung genommen, einen Respirator anfertigen zu lassen, der mit gepulverter Kohle gefüllt ist, um alle Miasmen und ansteckende Theilchen zu absorbiren oder zu zerstören, welche bei gelbem Fieber, Cholera und anderen ähnlichen Krankheiten in der Luft enthalten sein können. Zu dieser Annahme hält er sich in Folge verschiedener Versuche berechtigt, die er mit schädlichen Gasen wie Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Schwefelammonium &c. anstellte. Er fand, daß Luft, die mit diesen Gasen beladen war und unter gewöhnlichen Umständen schon nach kurzer Zeit nicht länger eingeathmet werden konnte, durch den Kohlenrespirator hindurch ohne alle Unannehmlichkeiten sich einathmen ließ, indem der Geruch der beigemischten Gase dadurch fast ganz, wo nicht vollständig beseitigt wurde. Aehnliche Vorrichtungen will er auch in den Wohnungen angebracht wissen, so daß alle von außen eindringende Luft diese Filter zu passiren hätte. In sehr ungesunden Gegenden sollen die Wände und Fußböden mit Matratzen belegt werden, welche einige Zoll dick mit Kohlenpulver bedeckt sind. Stenhouse ist der Ansicht, daß bei diesen Vorsichtsmaßregeln Europäer mit bei weitem größerer Sicherheit in Gegenden leben könnten, welche jetzt als die der Gesundheit verderblichsten betrachtet werden.

Die eben besprochenen Eigenschaften der Kohle beruhen auf der mechanischen Wirkung der Flächenanziehung. Sie stehen daher im Verhältniß zu der Größe der Fläche. Wenn man bedenkt, daß ein Cubikzoll Kohle in den unzerstörten Wänden der Zellen und Gefäße mehr als 100 Quadratfuß Oberfläche darbietet, so sind die Wirkungen der Kohle, die man oft Gelegenheit hat zu beobachten, begreiflich. Außer den bereits genannten Stoffen scheidet die Kohle aber auch eine große Zahl anderer aus Flüssigkeiten ab und hier geht in manchen Fällen unzweifelhaft der Flächenanziehung eine wirkliche chemische Anziehung vorher, so z. B. bei der schwefelsauren Indigolösung. Besonders tritt dies hervor bei Verbindungen, die sonst nicht leicht zerlegt werden können. Aus einer Lösung von essigsaurem Bleioxyd z. B. wird durch Kohle alles Blei entfernt, eben so aus verdünnten Kupfersalzlösungen das Kupfer. Während in vielen Fällen die Kohle das, was sie aus den Flüssigkeiten aufgenommen hat, an heißes Wasser wieder abtritt, geschieht dies in anderen, wie z. B. den beiden eben angeführten durchaus nicht; bei Anwendung einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd bemerkte Graham nach einiger Zeit zwischen der Kohle glänzende metallische Flitterchen.

Ueber das Verhalten der Kohle zu verschiedenen Salzlösungen sind zahlreiche Untersuchungen ausgeführt *). Chevallier hat gefunden, daß auch hier die

*) Graham, Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 139 Chevallier, Compt. rend. T. XX. p. 1279. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXV. S. 356. Esprit, Journ. de Pharm. et de Chim. T. XVI. p. 192. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLVIII. S. 424. Geiseler, Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XX. S. 155. Weppen, Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LV. S. 241 und Bd. LIX. S. 354. Harms, Arch. d. Pharm. Bd. CXIX. S. 121.

thierische Kohle viel kräftiger wirkt als Pflanzenkohle. So entfernte z. B. 1 Grm. Thierkohle 1 Grm. essigsaures Bleioxyd aus der Lösung in 100 Grm. Wasser binnen 48 Stunden, während die Hälfte des essigsauren Salzes durch das fünffache Gewicht Pflanzenkohle nur erst nach bedeutend längerer Zeit der Lösung ganz entzogen wurde. Nach Esprit kommen $3^1/_2$ Th. Pflanzenkohle 1 Th. thierischer Kohle an Wirksamkeit gleich. Eben so geht die Aufnahme der Stoffe bei Anwendung von Wärme viel rascher vor sich als in der Kälte. Untersucht man das Wasser, in welchem man die Kohle auf essigsaures und salpetersaures Bleioxyd hat wirken lassen, so findet man die entsprechende Säure darin im freien Zustande. Bei der Destillation eines Gemisches von essigsaurem Bleioxyd, Kohle und Wasser erhält man nach Chevallier Essigsäure; bei salpetersaurem Bleioxyd Salpetersäure. Die Kohle giebt daher ein gutes Mittel ab aus Flüssigkeiten, wie z. B. Wein, Orangenwasser etc., die durch Blei verunreinigt sind, diese der Gesundheit nachtheilige Beimischung zu entfernen. Auf diese Eigenschaft der Kohle hat man namentlich bei Untersuchungen von Flüssigkeiten, die eine Entfärbung nöthig machen, ganz besonders Rücksicht zu nehmen. Es können hier Metalloxyde durch die Kohle entfernt werden und sich dadurch der Auffindung bei der Untersuchung der entfärbten Flüssigkeit ganz entziehen.

Nach Esprit reducirt eine glühende Kohle Metalle aus ihren Lösungen. Nach ihm erleidet die Zusammensetzung eines Salzes, dessen Lösung man mit Kohle behandelt, eine Veränderung. Es bildet sich ein basisches Salz und freie Säure, welche letztere man in der Flüssigkeit vorfindet; oft aber bildet sich auch ein basisches Salz, das in der Kohle zurückbleibt, während ein sehr saures Salz in der Flüssigkeit befindlich ist. Der letztere Fall tritt bei dem schwefelsauren Eisenoxydul und Zinkoxyd ein; beide können daher durch Kohle nicht vollständig entfernt werden. Häufig findet aber nur eine einfache Absorption statt.

Weppen fand, daß Kohle, welche bereits zur Fällung eines Metalles gedient hat und damit gleichsam gesättigt ist, noch zur Fällung eines anderen dienen könne, auch wenn man eine andere Reihenfolge beobachtet, als die, in welcher ein Metall das andere niederzuschlagen pflegt. Uebrigens enthalten die verschiedenen Untersuchungen, die über die Einwirkung der Kohle auf Metallsalzlösungen angestellt worden sind, noch mancherlei Widersprüche in sich. So behauptet z. B. Schönbein *), daß Lösungen der Eisen- und Quecksilberoxydsalze, so wie die Chloride beider durch Kohle in Oxydulsalze und Chlorüre verwandelt werden. Esprit hat jedoch hervorgehoben **), daß Schönbein hierbei dem Einfluß der in der Kohle gewöhnlich enthaltenen Schwefelmetalle und anderen Verunreinigungen nicht Rechnung getragen zu haben scheine. Der Angabe von Schönbein, daß Quecksilberchlorid in wässeriger Lösung mit Kohlenpulver geschüttelt zu Chlorür werde, widerspricht Esprit auf das Bestimmteste.

Bittere Stoffe, Harze und gerbstoffhaltige Substanzen werden gleichfalls durch Kohle aus Lösungen entfernt. Garrod schlägt daher die Kohle als Gegengift aller Alkaloide vor. Versuche hierüber an Thieren hat er jedoch nicht angestellt. Labourdais bediente sich dieser Eigenschaft wegen der Kohle bei der

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 521.
**) Journ. de Chim. méd. [3] T. VI. p. 502.

Darstellung gewisser Alkaloide *), indem er die getrocknete Kohle mit siedendem Alkohol auszog und diesen Auszug auf geeignete Art wieder verarbeitete.

Esprit versuchte, ob auch andere poröse Körper diese Eigenschaft mit der Kohle theilen. Bimstein gab nicht genügende Resultate. Platinmohr entzog zwar mehreren Tinkturen den Geschmack und die Farbe; die Wirkung hörte aber bald auf und stand keineswegs im Verhältniß zu der außerordentlichen Porosität und Zertheilung dieses Körpers.

Die Unveränderlichkeit der Kohle gegen die verschiedensten Reagentien giebt zu mancherlei Anwendung Veranlassung. So z. B. verkohlt man Pfähle, die in die Erde eingeschlagen werden, an der Oberfläche, damit sie längere Zeit erhalten bleiben. Zeichnungen mit Kohle oder Tusche sind aus diesem Grunde sehr dauerhaft; man kann daher vergelbte Drucke, Kupferstiche rc. durch Chlor bleichen, ohne den Druck zu zerstören.

Ueber die Wirkung der Kohle bei der Vegetation hat Lucas einige interessante Versuche mitgetheilt **). Auch hier zeigt sich die thierische Kohle weit vortheilhafter als die Pflanzenkohle; es bewurzelten sich Blätter weit schneller und trieben schneller Augen, als die gleichartigen, bei denen Pflanzenkohle der Erde beigemischt worden war.

Die Entdeckung von Bunsen, daß die Kohle im Stande sei, das kostbare Platin als negatives Glied in den Volta'schen Ketten zu ersetzen, hat in neuester Zeit wegen der vielfachen Verwendung der letzteren bei der elektrischen Telegraphie und zu gewerblichen Zwecken eine besondere Wichtigkeit erlangt. Ueber die Bereitung einer solchen Kohle vergleiche man Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 417 und Bd. LV. S. 265 und Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXI. S. 437. Wegen ihrer chemischen Indifferenz eignet sich die Kohle auch vorzüglich zu elektrolytischen Apparaten.

Bei gewöhnlicher Temperatur verbindet sich die Kohle, obgleich sie große Mengen von Luft absorbirt, mit dem Sauerstoff nicht. Mitunter jedoch kommt eine freiwillige Entzündung der Kohle vor, auf die man erst in neuerer Zeit aufmerksam geworden ist ***). Es scheint, daß dies besonders eintritt, wenn frisch bereitete und gepulverte Kohle in großen Mengen hoch aufgeschüttet wird. Jedoch sind die näheren Umstände hier noch nicht genügend erforscht. Häufig tritt auch in Pulvermühlen bei den ersten Stößen des Stampfers, unter welchem die Kohle zermalmt wird, eine freiwillige Entzündung ein. Cossigny, der die Pulvermühlen auf Isle de France leitete, beobachtete die freiwillige Entzündung der Kohle 1780 zuerst, indem Kohle, die auf einem horizontalen Steine zermahlen wurde, sehr lebhaft Funken sprühte. Diesem Umstande schrieb er das früher so häufige Auffliegen der Stampfmühlen zu. Seitdem auf seinen Vorschlag die drei Materialien, welche das Schießpulver bilden, nicht mehr zusammen, sondern jede Substanz für sich zerkleinert werden, sind die Unglücksfälle in den Pulvermühlen bedeutend seltener geworden.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLVIII. S. 374.

**) Lieb. Ann. Bd. XXXIX. S. 127.

***) Gilb. Ann Bd. XVII. S. 244. Journ. f. prakt. Chem. Bd. IX. S. 101. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. X. S. 130 u. 134. Pogg. Ann. Bd. XX S. 451 und 620.

Bei höherer Temperatur verbindet sich die Kohle mit dem Sauerstoff. Hierauf beruhen viele Operationen, die für das Leben eine große Wichtigkeit haben. Zu diesen gehören besonders der Verbrennungsproceß und die Reduction (Gewinnung) der Metalle im Großen aus ihren Verbindungen mit Sauerstoff.

Die Kohle brennt nicht mit Flamme, weil sie bei dieser Temperatur nicht flüchtig ist; sie glüht daher nur, wie z. B. Eisen. Bei gewöhnlicher Temperatur zersetzt die Kohle das Wasser nicht, wohl aber in der Glühhitze. Eben so werden auch die Sauerstoffsäuren von Chlor, Brom, Jod, Schwefel, die Sauerstoffverbindungen des Stickstoffs, Schwefelwasserstoff 2c. durch Kohle in der Wärme zerlegt.

Mit dem Sauerstoff liefert der Kohlenstoff eine ganze Reihe von Verbindungen. Nach der Sauerstoffmenge, die sie enthalten, folgen sie sich in folgender Ordnung:

1) Die Honigsteinsäure oder Mellithsäure $C^4 O^3$. Sie kommt in der Natur mit Thonerde und Wasser verbunden als Honigstein, jedoch nur selten vor.
2) Die Krokonsäure $C^5 O^4$. } Beide bilden sich bei der Darstellung des Kaliums.
3) Die Rhodizonsäure $C^7 O^7$. }
4) Das Kohlenoxyd CO.
5) Die Mesoxalsäure $C^3 O^4$; ein Zersetzungsproduct der Harnsäure.
6) Die Oxalsäure $C^2 O^3$. Obgleich sie sehr allgemein in den Pflanzen auftritt, so kann sie doch nur aus wenigen (Rumex, Oxalis, Rheum) in größerer Menge gewonnen werden. Außerdem tritt sie auch nicht selten im thierischen Organismus auf und zwar nicht immer, wie z. B. in gewissen Harnsteinen, den sogenannten Maulbeersteinen, als Krankheitsproduct. Sehr leicht wird sie durch Oxydation organischer Körper, besonders der Kohlehydrate (Zucker, Stärke) mittelst Salpetersäure erhalten. Sie findet besonders in der Färberei und Kattundruckerei Verwendung.
7) Die Kohlensäure $C O^2$.

Die wichtigsten Verbindungen sind das Kohlenoxyd und die Kohlensäure, die daher näher zu betrachten sind.

Kohlen- oder Kohlenstoffoxyd, Gas oxide de carbone, carbonic oxyde. Chemische Formel: CO. Atomgewicht oder Aequivalent: 175 ($O = 100$) oder 14 ($H = 1$). In 100 Theilen: C 42,89 und O 57,11. Zusammensetzung dem Volumen nach:

1/2 Vol. Kohlenstoffdampf	0,4145
1/2 Vol. Sauerstoffgas	0,5526
1 Vol. Kohlenoxydgas	0,9674.

Als den Entdecker des Kohlenoxydgases haben wir Priestley anzusehen, der es 1799 beim Glühen von Kohle mit Zinkoxyd erhielt. Bald darauf entdeckte auch Woodhouse das Kohlenoxydgas, als er glühende Kohlen auf Kohlensäure einwirken ließ. Die chemische Natur dieses Gases wurde jedoch erst später durch die Untersuchungen von Cruikshank, Clement und Desormes, Fourcroy, Gay-Lussac, Thénard u. A. festgestellt.

In der Natur kommt das Kohlenoxydgas nicht vor; es bildet sich jedoch bei verschiedenen Vorgängen, so namentlich beim Verbrennen der Kohle oder kohlenstoffhaltiger Körper, sobald der Zutritt der Luft zur vollständigen Oxydation des

Kohlenstoffs zu Kohlensäure nicht ausreicht und bei der Reduction der Metalloxyde, welche den Sauerstoff mit einer gewissen Kraft zurückhalten. Auch anderen Sauerstoffverbindungen entzieht die Kohle bei höherer Temperatur den Sauerstoff und bildet damit Kohlenoxydgas. So z. B. wenn man Wasserdämpfe über glühende Kohlen leitet. Hierbei entsteht jedoch stets auch Kohlensäure und zwar in größerer Menge, wenn viel Wasserdampf auf wenig Kohle einwirkt. Erhitzt man kohlensauren Kalk mit $^1/_4$ Gew. Th. Kohle, so erhält man gleichfalls Kohlenoxydgas, das aber, wie bei der Zersetzung des Wassers, mit Kohlensäure und Wasserstoffgas gemengt ist.

Leitet man Kohlensäure über glühende Kohle, so nimmt die erstere noch Kohlenstoff auf, wodurch sich ebenfalls Kohlenoxydgas bildet. Diesen Vorgang beobachtet man oft bei unseren Kohlenfeuerungen an der blauen Flamme, mit der das heiße Kohlenoxydgas beim Austritt in die Luft zu Kohlensäure verbrennt, während man im gewöhnlichen Leben diese kleine blaue Flamme fälschlich einem Schwefelgehalt in den Kohlen zuschreibt.

Kohlenoxydgas entsteht ferner bei der Zersetzung organischer Körper, namentlich bei der trockenen Destillation der nicht flüchtigen Verbindungen; hier tritt gewöhnlich auch noch Kohlenwasserstoff, Kohlensäure *rc.* auf. Kommt es darauf an, Kohlenoxydgas im reinen Zustande zu gewinnen, so erhitzt man ein ameisensaures Salz mit überschüssiger concentrirter Schwefelsäure. Die Ameisensäure ($C^2 H O^3$) zerfällt hierbei in Kohlenoxydgas und Wasser. Auf gleiche Weise zerfällt die Oxalsäure ($C^2 O^3$) in Kohlenoxydgas und Kohlensäure, welche letztere man sehr leicht durch Kalkmilch oder Kalilauge beseitigt. Statt der reinen Oxalsäure kann man hierbei das billigere Kleesalz (saures oxalsaures Kali) verwenden. Nach Filhol *) liefern Stärke- oder Rohrzucker, wenn sie mit dem vierfachen Gewicht concentrirter Schwefelsäure erhitzt werden, gleichfalls Kohlenoxydgas, das auf die angegebene Art sehr leicht von der beigemengten Kohlensäure (etwa $^1/_5$ des Volumens) befreit werden kann. 80 Grm. Zucker lieferten etwa 2 Liter Gas. Stärkmehl gab ein analoges Resultat. Nach Pelouze **) entwickelt auch Milchsäure, wenn sie mit einem großen Ueberschuß von concentrirter Schwefelsäure erwärmt wird, reines Kohlenoxydgas. Als eine äußerst wohlfeile Quelle des Kohlenoxydgases zu Zwecken der Untersuchung oder des Unterrichtes empfiehlt Fownes ***) die Erhitzung des feingepulverten Ferrocyankaliums mit dem 8 bis 10fachen Gewicht concentrirter Schwefelsäure. Eine halbe Unze des gelben Salzes liefert mehr als 300 Kubikzoll Gas, welches sich in hohem Grade durch seine Reinheit auszeichnet. Gegen das Ende der Operation bildet sich eine kleine Menge schwefliger Säure.

Das Kohlenoxydgas ist farblos, geruchlos und geschmacklos. Spec. Gewicht nach Wrede = 0,96779, nach Clement und Desormes = 0,9409. Vom Wasser werden nur geringe Mengen absorbirt (nach Davy nur $^1/_{50}$, nach Dalton $^1/_{27}$ und nach Saussure $^1/_{17}$ seines Volumens). Zu einer Flüssigkeit ist das Kohlenoxydgas bis jetzt noch nicht verdichtet worden. Es ist nicht fähig die

*) Journ. de Pharm. et de Chim. [3] T. VII. p. 99.
**) Journ. de Pharm. et de Chim. [3] T. VII. p. 1. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LIII. S. 121.
***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLVIII. S. 38.

Verbrennung zu unterhalten, während es, wie schon angeführt, selbst brennbar ist; jedoch leuchtet die Flamme nur wenig. Bei der Verbrennung nimmt das Kohlenoxydgas sein halbes Volumen Sauerstoff auf und es resultirt hierbei Kohlensäure, deren Volumen jedoch dem des angewendeten Kohlenoxydgases gleich ist. Entzündet man ein Gemisch von Kohlenoxydgas und Sauerstoff oder Luft durch den elektrischen Funken, so wird das Kohlenoxydgas nicht vollständig zu Kohlensäure oxydirt, weil letztere ihrerseits wieder durch den elektrischen Funken in Kohlenoxydgas und Sauerstoff zerlegt wird. Platin bewirkt gleichfalls eine Vereinigung des Kohlenoxydgases mit Sauerstoff.

Das Kohlenoxydgas wirkt in der Hitze reducirend. Ausführliche Untersuchungen hierüber sind von Stammer *) angestellt. Durch Kalium und Natrium wird das Kohlenoxydgas in der Hitze zersetzt; es scheidet sich Kohle ab. Bei mäßiger Wärme wird jedoch das Kohlenoxydgas vom Kalium absorbirt; auf diese Art bestimmt man das Kohlenoxydgas quantitativ in Gasgemischen, z. B. bei der Untersuchung des Leuchtgases. Mehr zu empfehlen ist hier die Anwendung von Kupferoxydullösungen, die nach Leblanc **) das Kohlenoxydgas eben so schnell absorbiren sollen, wie kaustisches Kali die Kohlensäure. Bei Einwirkung des Sonnenlichtes verbindet sich das Kohlenoxydgas mit einem gleichen Volumen Chlorgas zu Phosgengas oder kohlensaurem Kohlensuperchlorid (Kohlenacichlorid nach Berzelius) $C\left\{\begin{matrix}O\\Cl\end{matrix}\right.$. Nach Hoffmann erhält man diese Verbindung sehr leicht, wenn man Kohlenoxydgas durch siedendes fünffach Chlorantimon leitet. Er empfiehlt dieses Verhalten, um die Gegenwart des Kohlenoxydgases in Gasgemischen nachzuweisen, da der Geruch des Phosgens sehr leicht zu erkennen ist. Auf Pflanzenfarben wirkt das Kohlenoxydgas nicht ein. Es ist überhaupt ein indifferenter Körper, der weder mit Säuren noch Basen Verbindungen eingeht.

Besonders hervorzuheben ist noch die schädliche Einwirkung des Kohlenoxydgases auf den thierischen Organismus. Selbst in geringen Mengen der Luft beigemengt bewirkt es Schwindel, Ohnmachten und selbst den Tod. Diesem Gase sind die beklagenswerthen Wirkungen des Kohlendunstes, der sich verbreitet, wenn die Oefen in den Zimmern zu früh geschlossen werden oder wenn man gar geschlossene Räume durch Verbrennen von Kohlen erwärmen will, zuzuschreiben. So oft auch auf die traurigen Folgen dieser Art aufmerksam gemacht worden ist, so fordern dennoch die Nachlässigkeit und der Unverstand unausgesetzt jeden Winter zahlreiche Opfer. Nach Barruel ***) ist das Kohlenoxydgas ein vortreffliches Mittel gegen den schädlichen Kornwurm. Sowohl vollkommen entwickelte Würmer, als auch die Larven derselben starben fast augenblicklich in diesem Gase; hatte die Einwirkung desselben jedoch nicht hinreichend lange stattgefunden, so erwachten die Thiere an der frischen Luft wieder.

Kohlensäure, kohlensaures Gas, Luftsäure. Acide carbonique, carbonic acid. Chemische Formel: CO^2. Atomgewicht oder

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 135. Man vergleiche hierbei die Angabe von Cérot, Journ. de Pharm. et de Chim. [3] T. XXII. p. 289.

**) Compt. rend. T. XXX. p. 483.

***) Compt. rend. T. XXIX. p. 89.

Aequivalent: 275 oder 22. In 100 Theilen: C 27,27 und O 72,73. Zusammensetzung dem Volumen nach:

1/2 Vol. Kohlenstoffdampf	0,4145
1 Vol. Sauerstoffgas	1,1052
	1,5197.

Die Kohlensäure wurde bereits von Paracelsus im 16. Jahrh. und von van Helmont im 17. Jahrh. von der atmosphärischen Luft unterschieden und nach dem damaligen Sprachgebrauch wilder Geist oder wildes Gas (Spiritus sylvestris, Gas sylvestre) benannt. Das Auftreten derselben erkannten sie beim Brennen des Kalkes und bei der Gährung. Black entdeckte in der Mitte des 18. Jahrh., daß aus dem Kalkstein und den sogenannten milden Alkalien ein Gas durch die Hitze oder durch Uebergießen mit Säuren ausgetrieben werden könne, und daß dasselbe identisch sei mit der Luftart, die von Thieren und Menschen ausgeathmet werde und ferner bei der Gährung und der Verbrennung entstehe. Er nannte dieses Gas fixe Luft. Bergmann erkannte sie darauf als eine Säure, die er Luftsäure nannte und deren Verhalten zu den Basen er gleichfalls bestimmte. Eine genaue Kenntniß der chemischen Natur der Kohlensäure verdanken wir Lavoisier.

Die Kohlensäure bildet sich bei den Vorgängen in der Natur auf verschiedene Weise, weshalb sie hier in so großer Menge vorkommt, wie nur wenig andere Körper. Aus dem Innern der Erde strömt eine ungeheure Menge Kohlensäure hervor, so daß diese Erscheinung eine der großartigsten auf der Erdoberfläche darstellt. Ueber die Entstehungsweise dieser Kohlensäure-Aushauchungen ist man noch nicht ganz im Klaren; die darüber aufgestellten Hypothesen findet man in Bischof's vortrefflichem Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie erörtert. So viel scheint jedoch fest zu stehen, daß diese Gasaushauchungen in den meisten Fällen mit einer vulkanischen Thätigkeit innig zusammenhängen; sei es, daß man noch jetzt in der Nähe thätige Vulkane findet oder daß diese bereits erloschen sind. Auf solchen Gebieten — der Eifel, in der Nähe des Laacher Sees, der Wetterau rc. — treten diese Gasausströmungen in solcher Zahl auf, daß man die Erdoberfläche einem Siebe gleich durchlöchert ansehen kann. Zum Theil gelangt hier die Kohlensäure zugleich mit dem Wasser an die Oberfläche der Erde, wodurch die zahlreichen Säuerlinge gebildet werden. Die Menge der austretenden Kohlensäure ist jedoch so bedeutend, daß das aufsteigende Wasser nicht im Stande ist alle Kohlensäure fortzuschaffen und deshalb treten neben den Säuerlingen in diesen Gegenden oft so zahlreiche Mofetten (Gasquellen) auf, daß man sie mitunter, wie zu Brohl in der Nähe des Laacher Sees, wo nach Bischof innerhalb 24 Stunden etwa 600 Pfund Kohlensäure dem Innern der Erde entströmen, zu technischen Zwecken (zu Bereitung von Bleiweiß) benutzt, indem man die Kohlensäure durch ein Pumpwerk auffaugt und durch Röhren dahin leitet, wo sie verwendet werden soll. An Badeorten bedient man sich dieser enormen Kohlensäureentwickelungen zu Gasbädern. Einen weiteren Nutzen könnte man daraus auf die Art ziehen, daß man die Kohlensäure über glühende Kohlen leitete und dann das Kohlenoxydgas als Brennmaterial verwendete. Einige artesische Brunnen liefern gleichfalls unausgesetzt beträchtliche Mengen von freier Kohlensäure; so z. B. das Bohrloch zu Neusalzwerk mit Einschluß der in der Soole gelösten oder

gebundenen Kohlensäure jährlich 24248976 Cubikfuß oder 27975 Centner und der große Sprudel zu Nauheim in jeder Minute 71 Cubikfuß oder jährlich über 45450 Centner, mithin eine Menge, wie sie durch Verbrennung von 1½ Mill. Pfund Steinkohlen oder durch Brennen von 12 Mill. Pfund Kalksteinen entwickelt wird.

Ferner entsteht Kohlensäure in großer Menge bei folgenden allgemeinen Vorgängen in der Natur: bei der Verbrennung, dem Athmen der Thiere und Menschen, in Folge der Vegetation, bei der Verwesung und Fäulniß organischer Stoffe und bei der Gährung. Daß die Luft, welche wir ausathmen, Kohlensäure enthält, davon kann man sich sehr leicht auf folgende Weise überzeugen. Treibt man mittelst einer Glasröhre einige Minuten lang die Luft aus unseren Lungen durch klares Kalkwasser, so entsteht sehr bald eine merkliche Trübung darin, indem sich kohlensaurer Kalk gebildet hat. Der Gehalt der Kohlensäure in der ausgeathmeten Luft schwankt zwischen 3,3 und 4,1 Proc.; am größten ist er des Nachmittags, am geringsten während der Nacht.

Trotz dieser zahlreichen Vorgänge in der Natur, die in so reichlicher Menge unausgesetzt Kohlensäure erzeugen, finden wir davon in der atmosphärischen Luft doch nicht mehr als 0,0004 bis 0,0005 Volumen derselben. Siehe hierüber den Art. Atmosphäre. In geschlossenen Räumen oder an Orten, wo der Luftwechsel ein unvollkommener ist, kann sich die Kohlensäure aus verschiedenen Gründen, sei es, daß hier viele Menschen oder Thiere zusammengedrängt oder gährende Flüssigkeiten aufgestellt sind oder eine Fäulniß und Gährung organischer Stoffe stattfindet, so anhäufen, daß das Athmen bedeutend erschwert wird und sogar Erstickung eintreten kann, wenn die Luft nicht gewechselt wird. Orte, wo dergleichen zu befürchten ist, müssen daher mit großer Vorsicht betreten werden. Gewöhnlich senkt man vorher eine brennende Kerze in solche Räume und glaubt, wenn diese fortbrennt, sei keine Gefahr zu befürchten; eine vollständige Sicherheit erhält man hierdurch nicht immer, denn wenn man eine Luft, die nur 1 bis 2 Proc. Kohlensäure enthält und in welcher eine Kerze fortbrennt, mehrere Stunden lang einathmet, so zeigen sich nicht selten sehr beunruhigende Zufälle. Ueberhaupt kann man dieses Mittel nur dann anwenden, wenn man sicher ist, daß sich an solchen Orten nicht zugleich auch brennbare Gase entwickeln.

Ein jedes Wasser enthält Kohlensäure in geringen Mengen. Zum Theil stammt sie aus der atmosphärischen Luft, zum Theil auch aus dem Innern der Erde her. Zumeist sind es wohl die oberen Schichten, welche durch Verwesung organischer Substanzen diese Kohlensäure liefern. Dem geringen Gehalt an Kohlensäure verdankt das Wasser seinen erfrischenden Geschmack; treibt man die Kohlensäure durch Erwärmen aus oder geht sie durch Stehen an der Luft verloren, so schmeckt das Wasser fade.

Die Kohlensäure macht auch einen Bestandtheil der Erdoberfläche aus. Wir finden sie hier namentlich an Kalk (als Kalkspath, Marmor, Kreide, Kalkstein), Magnesia oder an verschiedene andere Metalloxyde gebunden. Die Schalen der Austern und Eier enthalten gleichfalls kohlensauren Kalk; auch in den Knochen sind geringe Mengen derselben enthalten.

Läßt man Kohle oder kohlehaltige Substanzen auf Sauerstoffverbindungen einwirken, welche den Sauerstoff nicht sehr fest gebunden enthalten, so entsteht gleichfalls Kohlensäure; so z. B. beim Erhitzen von Kohle mit Salpetersäure,

Schwefelsäure, Braunstein, salpetersauren oder chlorsauren Salzen ꝛc. Eben so bei der Zersetzung organischer Substanzen durch Erhitzen für sich oder durch Einwirkung starker Basen, oxydirender Agentien ꝛc. Bei der Darstellung der Kohlensäure bedient man sich jedoch in der Regel der in der Natur in reichlicher Menge vorkommenden kohlensauren Salze, die man mit Salpetersäure, Schwefelsäure oder Chlorwasserstoffsäure übergießt. Gewöhnlich wendet man hierzu kohlensauren Kalk an. Der Marmor verdient den Vorzug, weil der gewöhnliche kohlensaure Kalk oder die Kreide sehr oft organische Substanzen eingeschlossen enthalten, die dem Gase einen unangenehmen Geruch ertheilen. Schwefelsäure ist hier weniger zu empfehlen, weil der sich bei der Entwickelung des Gases bildende schwefelsaure Kalk unlöslich ist; er umgiebt den noch nicht zersetzten Kalk und hindert so die Einwirkung der Säure. Salpetersäure und Chlorwasserstoffsäure sind daher mehr zu empfehlen. Bei Anwendung der letzteren kann die Kohlensäure durch Chlorwasserstoffsäure verunreinigt werden, weil letztere in Folge der Wärme, die bei der Einwirkung der Säure entsteht, leicht verdampft. Es ist daher gut, die Kohlensäure vor der Verwendung durch Wasser oder durch eine Lösung von doppelt-kohlensaurem Natron strömen zu lassen, wodurch die Chlorwasserstoffsäure zurückgehalten wird.

Wegen der werthvollen Nebenproducte, die man erhält, wendet man in neuerer Zeit auch andere kohlensaure Salze zur Entwickelung der Kohlensäure an; so z. B. Magnesit (kohlensaure Magnesia), die mit Schwefelsäure Bittersalz liefert. Auch der Strontianit (kohlensaurer Strontian) kommt jetzt so billig vor, daß man sich seiner zu gleichem Zwecke bedient, um nebenbei Strontiansalze zu gewinnen.

Kommt es darauf an, die Kohlensäure frei von Luft anzuwenden, so läßt man die Entwickelung einige Zeit vorher eintreten, um die in den Apparaten enthaltene atmosphärische Luft durch die Kohlensäure auszutreiben. Wird das sich entwickelnde Gas gänzlich von Kalilauge absorbirt, so ist es rein. In diesen Fällen muß man die Kohlensäure über Quecksilber auffangen oder wenigstens das Wasser auskochen, damit es frei von Luft ist.

Die Entwickelung von Kohlensäure ist eine Operation, die in chemischen Laboratorien sehr häufig vorzunehmen ist. Man thut daher gut, statt der gewöhnlichen Gasentwickelungsapparate einen anderen Apparat zu diesem Zweck einzurichten, der dem bekannten Döbereiner'schen Feuerzeuge ähnlich ist. Unter die Glocke setzt man auf einen Dreifuß, der von der Säure nicht angegriffen wird, eine durchlöcherte Schale von Glas oder Porzellan, welche zur Aufnahme des kohlensauren Salzes dient. Das Austrittsrohr ist rechtwinkelig gebogen; es setzt sich einige Zolle horizontal fort und ist mit einem Hahne versehen, wodurch ein jeder unnöthige Verlust an Gas vermieden wird.

Handelt es sich darum für technische Zwecke Kohlensäure in großer Menge darzustellen, so bedient man sich der Billigkeit wegen häufig anderer Methoden. Man verbrennt z. B. Kohlen in verschlossenen, mit einem Blasebalg versehenen Oefen. Man läßt hier das Gas durch Wasser gehen, um es zu waschen, d. h. um es von den mit fortgerissenen Ruß- oder Aschentheilchen zu befreien. Oder man glüht ein Gemenge von Braunstein, kohlensaurem Kalk und Kohle. Durch Einwirkung der Kohle auf den kohlensauren Kalk entsteht Kohlenoxydgas, das durch den Braunstein zu Kohlensäure oxydirt wird. An manchen Orten erzeugt man zu diesen Zwecken die Kohlensäure nicht direct, sondern benutzt die gelegent-

liche Entwickelung derselben; z. B. die in der Natur vorkommenden Gasströmungen oder die Kohlensäure-Entwickelung bei der Gährung der Bierwürze oder der Branntweinmaische.

Die Kohlensäure ist bei dem gewöhnlichen Luftdruck ein farbloses Gas, das einen eigenthümlichen schwachen stechenden und sauren Geruch besitzt. Es schmeckt zugleich auch sauer. Die Kohlensäure ist jedoch eine der schwächsten Säuren und wird daher von den meisten anderen Säuren unter Aufbrausen ausgetrieben, indem sie plötzlich als Gas entweicht. Befeuchtetes Lackmuspapier wird durch Kohlensäure zwar geröthet, da sie aber sehr flüchtig ist, so verschwindet die Röthung sehr bald wieder. An und für sich ist die Kohlensäure kein Gift; da sie aber den Sauerstoff sehr fest gebunden enthält, so ist sie weder tauglich die Verbrennung, noch das Athmen zu unterhalten. Ein brennender Spahn, so wie ein jeder anderer brennender Körper erlischt, wenn man ihn in Kohlensäuregas eintaucht; eben so sterben darin kleine Thiere sehr bald. Die gewöhnliche Luft kann jedoch ziemlich viel Kohlensäure enthalten, nach Berzelius $^1/_{20}$ ihres Volumens, ohne gerade nachtheilig auf den thierischen Organismus zu wirken. Ist der Luft ein Viertel ihres Volumens Kohlensäuregas beigemengt, so vermag sie nicht mehr die Verbrennung zu unterhalten.

Nimmt das Sauerstoffgas Kohlenstoff auf, so ist das Volumen der dadurch entstandenen Kohlensäure bei gleichen Temperatur- und Druckverhältnissen genau so groß, wie vorher das Volumen des Sauerstoffgases; durch das Hinzutreten des Kohlenstoffs wird aber das Gewicht desselben Gasvolumens bedeutend vermehrt. Dies ist die Ursache des hohen specifischen Gewichtes, welches das Kohlensäuregas besitzt. Die verschiedenen Angaben hierüber stimmen unter einander nicht überein. Biot und Arago geben das specif. Gew. des Kohlensäuregases = 1,5196 an, Berzelius und Dulong, welche die Abweichung dieses Gases von dem Mariotte'schen Gesetze *) nicht kannten, = 1,524 und Wrede = 1,5201. Das specif. Gew. des Kohlensäuregases ist also bedeutend höher als das der atmosphärischen Luft. Leitet man die Kohlensäure auf den Boden eines aufrechtstehenden Cylinders, so wird die Luft nach und nach ausgetrieben und man kann dann das Gas wie eine Flüssigkeit in ein anderes Gefäß ausgießen. Wegen der Schwere des Kohlensäuregases sammelt sich dasselbe, da wo es sich entwickelt, am Boden oder in den unteren Regionen an. Daher kommt es, daß in der bekannten Hundsgrotte zu Pausilippo bei Puzzuoli kleinere Thiere, welche mit ihren Athmungswerkzeugen über diese Schichten nicht hinausragen, ersticken, während der Mensch bei seinem aufrechten Gange keine Beschwerden verspürt.

Ueber das Verhalten der Kohlensäure zum Wasser und anderen Flüssigkeiten vergl. die Art. Absorption und Mineralwässer, künstliche. Wasser, welches mit Kohlensäure beladen ist, besitzt eine große Auflösungsfähigkeit für viele Substanzen **). Das in der Natur vorkommende Wasser enthält stets Kohlensäure und daher stammt auch ein Theil des Gehaltes an festen Bestandtheilen darin, die es beim Durchgang durch die verschiedenen Erdschichten aufnimmt. Das Auf-

*) Vergl. hierüber die Art. Gas und Ausdehnung.

**) Sillim. americ. Journ. [2] Vol. V. p. 401. Chem. pharm. Centralblatt 1848. S. 849.

lösungsmittel ist hier nicht das Wasser, sondern die Kohlensäure; verfliegt diese beim Stehen an der Luft oder treibt man sie durch Wärme aus, so fallen die vorher aufgelösten Verbindungen (alkalische Erden, Talkerde, Eisen- und Manganoxydul) wieder nieder.

Kalium und Natrium entziehen der Kohlensäure in der Wärme den Sauerstoff, wobei sich die Kohle ausscheidet. Im Allgemeinen ist die Kohlensäure eine sehr beständige Verbindung, die nicht leicht zersetzt werden kann. Ein Zerfallen derselben in Kohlenoxyd- und Sauerstoffgas kann jedoch auf verschiedene Weise herbeigeführt werden, wie dies schon weiter oben angedeutet worden ist.

Die Kohlensäure kann in den tropfbarflüssigen und festen Zustand übergeführt werden. Das Nähere hierüber wird im Art. Verdichtung der Gase mitgetheilt werden.

In der Technik benutzt man die Kohlensäure nur bei der Darstellung kohlensaurer Salze und bei der der künstlichen Mineralwässer. Als Erkennungsmittel der Kohlensäure im gasförmigen Zustande dient Kalk- oder Barytwasser, die dadurch getrübt werden, indem kohlensaurer Kalk oder Baryt niederfällt. Der Menge nach wird die Kohlensäure durch Absorption mittelst Kalilauge bestimmt. Bei der Untersuchung von Mineralwässern bestimmt man die darin vorhandene freie Kohlensäure dadurch, daß man eine gewogene oder gemessene Menge des Wassers mit einer klaren Lösung von Chlorcalcium oder besser Chlorbarium, der Ammoniak in Ueberschuß zugesetzt worden ist, mischt. Den Niederschlag filtrirt man nach dem Absetzen bei abgehaltener Luft ab, wäscht ihn mit ammoniakhaltigem Wasser aus und glüht ihn nach dem Trocknen gelinde. — Bei der Bestimmung der Kohlensäure in ihren Verbindungen mit Basen treibt man die Kohlensäure, wenn man es mit wasserfreien Substanzen zu thun hat, entweder durch Glühen oder durch stärkere Säuren aus. Im letzteren Falle wird dem Entweichen von Wassergas durch ein Chlorcalciumrohr vorgebeugt. Der Gewichtsverlust zeigt die Menge der Kohlensäure an. Entwickelt eine Substanz, deren Kohlensäuregehalt auf die letztere Weise bestimmt werden soll, gleichzeitig salzsaures Gas oder Schwefelwasserstoff, so wird das Entweichen der letzteren nach Vohl *) durch einen Zusatz von Quecksilberoxyd verhindert. Unter den Apparaten, die in der neueren Zeit für die quantitative Bestimmung der Kohlensäure mittelst Austreiben durch stärkere Säuren construirt worden sind, verdient der von Geißler in Berlin **) besondere Beachtung.

Mit den Basen bildet die Kohlensäure eine Reihe von Salzen (Carbonate, Carbonates), von denen viele eine große Wichtigkeit beanspruchen, indem sie theils eine ausgedehnte Anwendung in der Technik erhalten haben, theils auch in der Natur sehr verbreitet vorkommen. Je stärker die basischen Eigenschaften der Oxyde sind, um so leichter verbindet sich die Kohlensäure damit; doch spielt die Gegenwart des Wassers hierbei eine große Rolle. Die Verwandtschaft zwischen der Kohlensäure und den Basen ist nur eine geringe; durch Glühen wird die erstere ausgetrieben. Nur die kohlensauren Alkalien verflüchtigen sich ohne Zersetzung; durch Wasserdampf wird aber auch hier die Kohlensäure zwar langsam aber doch

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXVI. S. 247.
**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LX. S. 35.

vollständig ausgetrieben. Außer den neutralen Salzen, in denen der Sauerstoffgehalt der Säure das Doppelte vom Sauerstoffgehalt der Base beträgt, bildet die Kohlensäure auch noch mit vielen Basen saure Salze (Bicarbonate). Während die neutralen Alkalisalze leicht löslich sind und die übrigen neutralen Salze der Kohlensäure unlöslich oder doch wenigstens sehr schwer löslich, lösen sich die sauren Salze der ersteren weit schwerer in Wasser und die sauren kohlensauren Salze der übrigen Basen existiren nur in aufgelöstem Zustande. Bei letzteren entweicht die Kohlensäure schon bei gewöhnlicher Temperatur und das einfache kohlensaure Salz fällt nieder. Im Allgemeinen erkennt man die kohlensauren Salze durch das Aufbrausen beim Uebergießen mit Säuren; will man hier vor Täuschung sicher sein, so muß man das sich entwickelnde Gas durch klares Kalk- oder Barytwasser leiten.

Obgleich der Kohlenstoff sich nicht direct mit dem Wasserstoff vereinigen läßt, so existiren dennoch eine große Zahl von Verbindungen dieser Art (Kohlenwasserstoffe). Sie entstehen alle nur aus organischen Körpern, viele, wie die zahlreiche Klasse der ätherischen Oele, die sogenannten fossilen Harze &c. kommen in der Natur fertig gebildet vor, andere entstehen hier bei der Fäulniß, noch andere erhalten wir bei der trockenen Destillation organischer Körper, die arm an Sauerstoff, aber reich an Wasserstoff sind oder durch Elektrolyse. Die zahlreichen Verbindungen der Kohlenwasserstoffe treten in allen drei Aggregatzuständen auf. Wir betrachten hier nur das leichte und das schwere Kohlenwasserstoffgas näher.

Leichtes Kohlenwasserstoffgas, Halbkohlenwasserstoff, Wasser-Subcarbonat, Methylwasserstoff, Gas hydrogène proto-carboné, Bihydroguret of carbon, Sumpfgas, Gas inflammable des marais, Grubengas, schlagendes Wetter, feuriger Schwaden, feu terrou, grisou oder brisou, fire damp. Chemische Formel: H^2C. Atomgewicht oder Aequiv.: 100 (O = 100) oder 8 (H = 1). In 100 Theilen: C 75, H 25. Zusammensetzung dem Volumen nach:

2 Vol. Wasserstoffgas . . .	0,1382
$^1/_2$ Vol. Kohlenstoffdampf . .	0,4145
1 Vol. Kohlenwasserstoffgas .	0,5527

Die Namen Sumpf- und Grubengas zeigen an, daß dieses Gas häufig in der Natur vorkommt. Es erzeugt sich stets bei der Fäulniß von Holz oder Pflanzen überhaupt unter Wasser oder bei beschränktem Luftzutritt. Man kann daher dieses Gas leicht sammeln, wenn man Sümpfe oder andere schlammige stehende Gewässer aufrührt. Die zahlreich aufsteigenden Gasblasen fängt man in einer mit Wasser gefüllten Flasche, auf deren Hals unter Wasser ein Trichter gesteckt wurde, auf. Neben dem Kohlenwasserstoff sind in diesem Gase noch 10 bis 20 Proc. Kohlensäure, die leicht durch Kalkwasser entfernt werden kann, und geringe Mengen Stickstoffgas enthalten.

Daß an vielen Orten Kohlenwasserstoffgas der Erde in beträchtlichen Mengen entströmt, haben wir bereits im Art. Gasbeleuchtung (Bd. III. S. 429) berichtet. Ueberall ist die Entstehung dieser Gasquellen noch nicht erklärt; vulkanischer Natur scheinen sie nicht unbedingt zu sein, da sie auch in Gegenden auftreten, die sehr fern von Vulkanen liegen.

Eine andere Quelle für die fortdauernde Bildung des leichten Kohlenwasserstoffgases sind die Steinkohlenlager. In diesen finden sich zahlreiche Höhlungen,

welche das Gas eingeschlossen enthalten. Beim Abbauen der Steinkohlen gelangt das Gas in Freiheit, so wie es auch andauernd, besonders bei niedrigem Barometerstande, den zahlreichen Rissen und Klüftungen entströmt. Die Ansammlungen des Gases in den Gängen der Kohlenbergwerke sind eine große Plage für den Bergmann, indem dadurch nicht allein die Luft verdorben wird, sondern auch durch die Vermischung mit der atmosphärischen Luft ein höchst gefährliches, leicht explodirendes Gasgemenge entsteht, das bereits große Verheerungen angerichtet hat und fortdauernd noch anrichtet. Aus diesen Gründen muß besondere Sorgfalt auf die Fortführung dieser bösen Wetter durch einen starken Luftzug verwendet werden. Zuweilen findet eine gleiche Gasentwickelung auch bei lagernden Steinkohlen in Magazinen und Schiffen statt. — Aus manchen Mineralquellen, z. B. den Schwefelquellen von Aachen und Nenndorf, der Adelheidsquelle zu Heilbrunn in Oberbayern, den Quellen der Herkulesbäder im Banat, entwickelt sich auch Grubengas, wenn schon in geringer Menge. Bei einer erbohrten, Steinöl gebenden Salzquelle in der Nähe von Hannover macht das Grubengas den Hauptbestandtheil des sich entwickelnden Gases; eben so bei dem Gasgemenge, welches sich im Steinsalz von Wieliczka, dem sogenannten Knistersalz, eingeschlossen vorfindet.

Ferner tritt das leichte Kohlenwasserstoffgas auf bei der trockenen Destillation organischer Stoffe; doch hier ist es stets gemischt mit anderen Kohlenwasserstoffen, Kohlensäure, Kohlenoxyd und Wasserstoffgas. Ein ähnliches Gasgemenge erhält man, wenn man Alkoholdämpfe durch ein dunkelrothglühendes Porzellanrohr oder Flintenrohr streichen läßt. Auf gleiche Weise wird auch das schwere Kohlenwasserstoffgas in das leichte umgewandelt. Aus den angeführten Gründen geht hervor, daß das sogenannte Leuchtgas bedeutende Mengen von leichtem Kohlenwasserstoffgase enthalten muß.

Rein stellt man das Gas auf folgende Art dar. Persoz empfiehlt geschmolzenes Barythydrat und wasserfreies essigsaures Natron genau nach dem Verhältniß ihrer Mischungsgewichte zu mischen und zu erhitzen. Bei der hierdurch bewirkten Zersetzung treten die Elemente der Essigsäure und des Wassers $= C^4 H^3 O^3 + HO$ oder $C^4 H^4 O^4$ zu 2 Aeq. Kohlenwasserstoff $= 2 (H^2 C)$ oder $H^4 C^2$ und 2 Aeq. Kohlensäure $= 2 (CO^2)$ oder $C^2 O^4$ zusammen. Letztere wird durch das Natron aus dem Baryt zurückgehalten. Dumas ersetzt das Barythydrat durch Kalihydrat und gebrannten Kalk.

Das Gas ist farblos und besitzt einen schwachen unangenehmen Geruch. Wasser nimmt davon nur $^1/_{11}$ dem Raume nach auf. Es ist brennbar und verbrennt mit einer gelblichen, wenig leuchtenden Flamme zu Kohlensäure und Wasser, wobei es das doppelte Volumen Sauerstoffgas verzehrt. Wie schon angeführt, explodirt es mit Luft gemischt heftig. Beträgt die Luftmenge viel weniger oder viel mehr (über 10 Vol.), als zur vollständigen Verbrennung nothwendig ist, so explodirt das Gemenge nicht. Mit 8 Vol. Luft gemischt explodirt es am heftigsten, bei 6 Vol. nur schwach und bei 4 Vol. gar nicht. Beim Einathmen verursacht es Schwindel und Brustbeklemmung; kleinere Thiere sterben darin sehr bald.

Schweres Kohlenwasserstoffgas, ölbildendes Gas, Wasserstoffcarburet, Gas hydrogène percarboné, Gas oefiant, Hydroguret of carbon, auch Elaylgas, Aetheringas, Vinylgas genannt. Chemische Formel: H C. Atomgewicht oder Aequivalent: 87,5 (O = 100) oder 7 (H = 1). In 100 Theilen 85,7 C und 14,3 H. Zusammensetzung dem Volumen nach:



2 Vol. Wasserstoffgas	0,138200
1 Vol. Kohlenstoffdampf	0,829275
1 Vol. schweres Kohlenwasserstoffgas .	0,967475

Als Entdecker dieses Gases haben wir die holländischen Chemiker Deimann, Paeti van Troostwyk, Bondt und Lauwerenburgh (1795) anzusehen. Gewöhnlich findet man in den Lehrbüchern der Chemie die Angabe, daß dieses Gas in der Natur nicht vorkomme; nach Bischof aber soll es in geringer Menge in den feurigen Schwaden der Steinkohlenbergwerke enthalten sein. Es bildet sich jedoch in reichlicher Menge bei der trockenen Destillation vieler organischer Körper, namentlich bei denen, welche reich an Wasserstoff und arm an Sauerstoff sind, wie z. B. bei der trocknen Destillation des Wachses, der Harze, Fette, des Kautschuks, der Steinkohlen 2c. Ueber das Leuchtgas und über den Antheil, den das schwere Kohlenwasserstoffgas daran hat, vergl. d. Art. Gasbeleuchtung. In neuester Zeit spricht Bltschke *), gestützt auf eine Untersuchung des Berliner Leuchtgases (der englischen Gesellschaft) die Behauptung aus, daß das Elaylgas durchaus nicht von der Bedeutung für die Leuchtfähigkeit des Steinkohlengases ist, als man bis jetzt so allgemein angenommen hat, da die in dem Gase gefundene Menge Elayl viel zu unbedeutend ist, als daß sie beim Leuchten des Gases überhaupt thätig sein könnte. Nach ihm verdankt das Leuchtgas seine Leuchtkraft namentlich dem Benzin, wobei eine Mitwirkung des Naphthalins wohl nicht auszuschließen ist. Daß in dem Leuchtgase, besonders in dem aus Harz bereiteten, große Mengen von Benzin enthalten sind, hat bereits früher schon Böttger **) ausgesprochen; eben so, daß dasselbe wesentlich zur Erhöhung der Lichtintensität der Flamme mit beitrage.

Will man das ölbildende Gas rein darstellen, so erhitzt man ein Gemenge von 1 Th. Alkohol und 6 bis 7 Th. concentrirter Schwefelsäure. Um die gleichzeitig sich verflüchtigende schweflige Säure, Aether- und Alkoholdämpfe zu entfernen, leitet man das Gas durch Kalkmilch und concentrirte Schwefelsäure. Nach und nach schwärzt sich das Gemenge und erstarrt endlich in Folge der vorschreitenden Bildung der Thiomelansäure ***). Nach Mitscherlich ****) kann man durch eine verhältnißmäßig geringe Menge Schwefelsäure eine große Menge Elaylgas darstellen. Zu diesem Ende mischt man 10 Th. concentrirter Schwefelsäure mit 3 Th. Wasser und erhitzt so lange, bis der Kochpunkt constant bei 165° liegt; dann läßt man in einem feinen Strahl andauernd Alkohol einfließen, so daß dadurch die Temperatur nicht bedeutend verringert wird. Diese Methode gewährt den Vortheil, daß keine schweflige Säure hierbei entsteht; Alkohol- und Aetherdämpfe verflüchtigen sich auch hier und darum muß man für deren Beseitigung Sorge tragen.

Der Vorgang bei beiden Methoden ist einfach der, daß der Alkohol durch die Schwefelsäure entwässert wird, wie dies die nachstehende Formel deutlich macht:

---

*) Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXXXI. S. 257.
**) Jahresb. d. phys. Ver. z. Frankfurt a. M. 1852—53. S. 21.
***) Schweigger's Journ. Bd. XLI. S. 319. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XV. S. 13 u. Bd. XXI. S. 291. Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 619.
****) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. VII. p. 12.

$$\underbrace{C^4 H^6 O^2}_{\text{Alkohol}} = \underbrace{C^4 H^4}_{\text{Oelbildendes Gas}} + 2 HO$$

Das ölbildende Gas ist farblos, ohne Geschmack und besitzt einen unangenehmen Geruch. Es ist nicht athembar; in geringen Mengen der Luft beigemischt erzeugt es Kopfweh und Schwindel; im reinen Zustande wirkt es tödtlich. Vom Wasser wird es nur in geringen Mengen aufgenommen ($^1/_8$ bis $^1/_6$ Vol.); eben so von concentrirter Schwefelsäure, Alkohol und Aether; von wasserfreier Schwefelsäure dagegen in großer Menge, wobei sich Krystalle von wasserfreier Aethionsäure bilden. Ueber die Zersetzung des ölbildenden Gases in der Hitze haben wir bereits in dem Art. Gasbeleuchtung gesprochen.

Das Elaylgas brennt mit stark leuchtender Flamme. Zur vollständigen Verbrennung bedarf 1 Vol. des Gases 3 Vol. Sauerstoffgas oder 15 Vol. atmosphärischer Luft, womit es zu Wasser und Kohlensäure verbrennt. Mit Sauerstoff oder Luft gemischt detonirt es durch den elektrischen Funken oder bei Annäherung eines brennenden Körpers. Nach Döbereiner *) soll ein Gemenge von Elaylgas und Sauerstoffgas durch Platinmohr in Essigsäure verwandelt werden.

Läßt man anhaltend elektrische Funken durch das Gas schlagen, so wird es zerlegt in Wasserstoffgas und Kohle. Leichter und überraschender läßt sich das Vorhandensein von Kohle in dem farblosen Gase auf folgende Weise zeigen. Man mischt das Elaylgas mit dem doppelten Volumen Chlorgas und entzündet das Gemenge sogleich, bevor eine gegenseitige Einwirkung stattfinden kann. Unter der Bildung von Chlorwasserstoffsäure scheidet sich die Kohle reichlich als feiner Ruß ab. Mit dem gleichen Volumen Chlor bildet das Elaylgas bei Gegenwart von Wasser eine ölige Flüssigkeit (holländische Flüssigkeit, Elaylchlorür $C^2 H^2 Cl$). Davon stammt auch der Name ölbildendes Gas her, der aber jetzt nicht mehr bezeichnend ist, da man weiß, daß das Sumpfgas ein Gleiches thut. Auf die übrigen Verbindungen des Elaylgases mit Chlor **), so wie auf die mit Brom und Jod können wir hier nicht weiter eingehen.

Nicht allein durch seine Entstehungsweise aus organischen Körpern, sondern mehr noch durch sein chemisches Verhalten, da es sowohl die Rolle eines Radikals als auch eines Paarlings übernimmt, gehört das Elaylgas in die organische Chemie. Es verbindet sich sowohl mit Elementen und zusammengesetzten Radikalen, als auch mit Oxyden. Durch die Einfachheit seiner Constitution nähert es sich zwar sehr den unorganischen Verbindungen und dadurch rechtfertigt man auch bisweilen die Abhandlung desselben unter den Verbindungen des Kohlenstoffs in der unorganischen Chemie.

Wir haben oben die einfachste Formel, die sich aus der procentischen Zusammensetzung des ölbildenden Gases ableiten läßt, gewählt. Ueber die Constitution dieses Gases herrschen jedoch unter den Chemikern verschiedene Ansichten. So nennt Berzelius das ölbildende Gas, wenn es die Rolle eines Radikales

*) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XIV. S. 14.

**) Ueber die in neuester Zeit erfolgte Anwendung dieser Präparate zu örtlichen Anästhesirungen vergleiche man Compt. rend. T. XXXI. p. 845 u. T. XXXII. p. 25. Jahresberichte über die Fortschritte der Pharmacie 1852. S. 132. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXII. S. 217.

übernimmt, Elaylgas und leitet aus der holländischen Flüssigkeit dafür die Formel $C^2 H^2$ ab, während Dumas, Boullay und Mitscherlich aus der Abscheidung von 2 At. HO aus dem Alkohol ($C^4 H^5 O + HO$) durch Schwefelsäure, wie wir oben dargestellt haben, die Formel $C^4 H^4$ und den Namen Aetheringas ableiten. Eine dritte Ansicht über die Constitution des ölbildenden Gases haben Regnault und Liebig aufgestellt, die es als die Wasserstoffverbindung eines zusammengesetzten Radikals $C^4 H^3$, Acetyl oder Aldehydene genannt, ansehen und ihm den Namen Acetyl- oder Aldehydenwasserstoff ($C^4 H^3 + H$) geben.

Nach der Ansicht von Dumas und Mitscherlich wäre demnach der Aether ($C^4 H^4 + HO$) das erste und der Alkohol ($C^4 H^4 + 2 HO$) das zweite Hydrat des Radikals $C^4 H^4$. Gegen diese Ansicht gewann in neuerer Zeit wegen der sonstigen Zersetzungsweisen des Alkohols die Meinung von Berzelius, der den Aether ($C^4 H^5 + O$) als das Oxyd und den Alkohol ($C^4 H^5 + O + HO$) als das Oxydhydrat eines Radikals $C^4 H^5$ ansieht, die Oberhand, zumal dieses Radikal (Aethyl) wirklich von Frankland dargestellt worden ist. Löwig, Schweitzer, Wöhler, Landolt u. A. haben zwar nicht allein die Verbindungen dieses Radikals, sondern auch die des Methyls und Amyls (aus dem Holzgeist und Fuselalkohol) mit Arsen, Zinn, Tellur ꝛc., und die Amide dargestellt, aber Keinem ist es gelungen diese Radikale mit Sauerstoff zu verbinden; das Oxyd oder das Oxydhydrat, also Aether und Alkohol hat man auf diese Weise nicht darstellen können. Dagegen hat die Ansicht von Dumas und Mitscherlich durch Berthollet in neuester Zeit eine neue Stütze erlangt, indem es diesem Chemiker gelungen ist, einfach mit Hülfe von Schwefelsäure aus dem Leuchtgase Alkohol darzustellen *).

Berthollet füllte einen luftleer gepumpten Kolben mit 31 bis 32 Liter ölbildendem Gase, goß dann nach und nach 900 Grm. concentrirte Schwefelsäure und einige Kilogrm. Quecksilber dazu und schüttelte das Ganze fleißig um. Nach 4 Tagen oder 53,000 Umschüttelungen war die Absorption des Gases sehr schwach; 30 Liter davon waren absorbirt. Die Schwefelsäure hatte den Geruch und die Farbe angenommen, die einer Mischung von Schwefelsäure und Alkohol eigenthümlich sind. Die Schwefelsäure wurde nun mit 5 bis 6 Volumen Wasser verdünnt der Destillation unterworfen, wobei 52 Grm. Alkohol oder 45 Grm. absoluter Alkohol erhalten wurden. Die Ausbeute entspricht $^3/_4$ des Gases; der Rest ist während der Operation verloren gegangen. Der Alkohol glich in allen seinen Eigenschaften dem gewöhnlichen, nur besaß er einen brenzlichen und scharfen Geruch und Geschmack; mit Schwefelsäure und Sand, wie Wöhler vorgeschlagen hat, erhitzt, lieferte er wiederum normales ölbildendes Gas. Eben so konnten aus diesem Alkohol auch die ihm zugehörigen zusammengesetzten Aether dargestellt werden.

Berthollet hat auch mit dem gewöhnlichen Leuchtgase operirt, dem er das darin enthaltene ölbildende Gas durch Jod entzog. Die Resultate waren hier dieselben. Zum ersten Male also ist der Alkohol ohne Gährung und zuckerhaltige Stoffe dargestellt worden.

Mit Stickstoff verbindet sich der Kohlenstoff nur in statu nascenti oder unter Mitwirkung anderer Körper. Glüht man z. B. Thierkohle mit kohlensaurem Kali,

*) Compt. rend. T. XL. p. 102. Journ. de Chim. et de Pharm. [3] T. XXVII. p. 320.

so entsteht aus dem Stickstoff der ersteren und dem Kohlenstoff des letzteren eine bestimmte Verbindung, das Cyan *) (C^2 N oder Cy), auch Cyanogen, Blaustoff genannt. Außerdem aber können wir das Cyan auf höchst mannichfaltige Weise darstellen, doch tritt es bei diesen verschiedenen Processen nie isolirt auf, sondern stets in Verbindung mit Metallen oder Wasserstoff. Unter den ersteren dient besonders das Cyanquecksilber zur Darstellung des Cyan im freien Zustande; beim Erhitzen tritt die Zerlegung ein und das Cyan entweicht als ein farbloses Gas von durchdringendem, stechendem Geruch. Man fängt das Gas über Quecksilber auf, da Wasser davon sein $4^1/_2$ faches, Alkohol sogar sein 23faches Volumen verschluckt. Wohlfeiler stellt man das Cyan dar nach Berzelius durch Erhitzen eines Gemenges von Cyankalium mit Quecksilberchlorid (K Cy + Hg Cl = K Cl + Hg + Cy) oder nach Kemp **) von Quecksilberchlorid und Blutlaugensalz, der gewöhnlichsten Cyanverbindung des Handels (2 Hg Cl + K^2 Fe Cy^3 = 2 K Cl + Fe Cy + 2 Hg + 2 Cy).

In der Natur tritt das Cyan eben so wenig im freien Zustande auf und auch die Verbindungen desselben werden sehr selten gefunden; nur in wenigen complicirten Pflanzen- und Thierstoffen treten sie auf (Amygdalin, Kaffein, Harnstoff) und selbst hier ist es zweifelhaft, ob sie in der That schon fertig gebildetes Cyan enthalten. — Bunsen und Playfair haben Cyan in den mit Steinkohlen beschickten Hohofengasen gefunden (1,34 Proc. ***). Es ist ihnen gelungen, den Ort zu ermitteln und die Bedingungen festzustellen, wo und unter welchen die Bildung desselben im Ofen erfolgt. Es wäre dies eine reiche Quelle für die Darstellung der technisch wichtigen Cyanverbindungen, da ein einziger Hohofen zu Alfreton täglich allein 224,7 Pfund Cyankalium lieferte. Freilich wäre erst durch die Erfahrung festzustellen, ob diese Cyankaliumbildung auch eine nachhaltige sei.

Das Cyangas brennt mit schön violetter Flamme. Die Lösungen des Gases in Wasser und Alkohol zersetzen sich sehr leicht; sie verlieren sehr bald die Farblosigkeit, indem sie sich bräunen und trüben. Wir haben hier ein sehr interessantes Beispiel einer außerordentlichen Umsetzungsfähigkeit einfach zusammengesetzter Körper, indem hier nicht weniger denn 8 neue Verbindungen entstehen, nämlich: Blausäure, Kleesäure, Kohlensäure, Cyansäure, Azulansäure (Paracyan), Ameisensäure, Harnstoff und Ammoniak.

Für die Wissenschaft ist das Cyan, welches 1815 durch Gay-Lussac ****) entdeckt worden ist, von großer Wichtigkeit geworden, indem es durch sein chemisches Verhalten Veranlassung gab zur Aufstellung der Lehre von den zusammengesetzten Radicalen, deren wichtigsten Stützpunkt es noch heute abgiebt. Auch noch in anderer Beziehung ist das Cyan, wie wir weiter unten sehen werden, für die Wissenschaft höchst wichtig geworden.

Gegen die Metalle und Metalloide verhält sich das Cyan, obgleich es ein zusammengesetzter Körper ist, den Haloiden (Chlor, Brom und Jod) ganz analog. Es vertritt mithin in seinen Verbindungen die Stelle eines Elementes. — Obgleich

*) Der Name stammt her von κυανος, blau, und bezieht sich auf die älteste bekannte Verbindung des Cyans, das Berlinerblau.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm Bd. XLVIII. S. 145.

***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLII. S. 392.

****) Ann. de Chim. T. LXXVII. p. 128 u. T. XCV. p. 136.

das Cyan zum Sauerstoff keine große Verwandtschaft zeigt, d. h. sich nicht direct mit ihm verbindet, so lassen sich doch auf indirectem Wege fünf verschiedene Verbindungen darstellen, von denen 4 den Charakter der Säuren tragen. Sie zeigen das Eigenthümliche, daß sie alle eine gleiche procentische Zusammensetzung, wenn schon, wenigstens zum Theil, ein verschiedenes Aequivalent besitzen. Diese Verbindungen sind: 1) die Cyansäure ($CyO + HO$), 2) die Knallsäure ($2\ CyO + 2\ HO$), 3) die Cyanursäure ($3\ CyO + 3\ HO$), 4) die Cyanilsäure (ebenfalls $3\ CyO + 3\ HO$) und 5) das Cyamelid oder die unlösliche Cyanursäure ($C^2\ N\ HO^2$).

Diese Verbindungen sind alle sehr wenig beständig. Das Cyansäurehydrat, eine farblose, auf die Haut höchst energisch wirkende Flüssigkeit, besteht nur bei einer Temperatur unter dem Gefrierpunkt; über demselben siedet die Flüssigkeit und verwandelt sich unter heftiger Explosion in das weiße, amorphe und indifferente Cyamelid, das durch Destillation wieder in Cyanursäurehydrat übergeht. Von den cyansauren Salzen führen wir das cyansaure Ammoniumoxyd an, das dadurch äußerst merkwürdig ist, daß die Lösung desselben sich beim Erwärmen in Harnstoff umsetzt:

$$\underbrace{NH^4\ O + C^2\ NO}_{\text{Cyansaures Ammoniumoxyd.}} = \underbrace{C^2\ H^4\ N^2\ O^2}_{\text{Harnstoff.}}$$

Beide besitzen zwar genau dieselbe Zusammensetzung, sind aber doch bestimmt von einander verschieden. In der Auflösung des ersteren vermag man durch Oxalsäure keinen Harnstoff nachzuweisen, während nach dem Erwärmen darin weder Cyansäure noch Ammoniak enthalten ist. Dies Verhalten wird dadurch noch bedeutsam, daß es das erste Beispiel der künstlichen Nachbildung einer durch die Lebensthätigkeit im thierischen Organismus erzeugten Verbindung auf chemischem Wege und zwar aus rein anorganischen Stoffen ist. Wir können nämlich Cyan darstellen, wenn wir Stickstoff über ein glühendes Gemenge von Kohle und kohlensaurem Kali leiten.

Die Knallsäure oxydirt nur in ihren Verbindungen mit Basen, den bekannten Knallsalzen oder Fulminaten, die, wenn sie selbst im feuchten Zustande mit harten Körpern berührt werden, sich unter der heftigsten Explosion zersetzen. Die wichtigsten dieser gefährlichen Salze sind das knallsaure Silber- und Quecksilberoxyd. Löst man 1 Th. Silber oder 1,6 Th. Quecksilber in 20 Th. Salpetersäure von 1,36 specif. Gewicht und mischt man diese Lösung mit 27 Th. Alkohol, so tritt eine heftige Reaction ein, nach deren Ende sich die knallsauren Salze krystallinisch ausscheiden. Durch folgendes Schema läßt sich die Bildung dieser Verbindungen anschaulich machen:

$$1)\ AgO + 2\ NO^5 + \underbrace{4\ C^4\ H^6\ O^2}_{\text{Alkohol}} = AgO + 2\ NO^3 + \underbrace{C^4\ H^4\ O^2}_{\text{Aldehyd}} + \underbrace{2\ C^2\ O^3}_{\text{Oxalsäure}} + 8\ H + \underbrace{2\ C^4\ H^6\ O^2}_{\text{Alkohol.}}$$

$$2)\ AgO + 2\ NO^3 + C^4\ H^6\ O^2 = \underbrace{AgO + C^4\ N^2\ O^2}_{\text{Knallsaures Silberoxyd.}} + 6\ HO.$$

Die Cyanursäure ist eine feste, weiße Masse, die zurückbleibt, wenn man Harnstoff vorsichtig erhitzt, so lange noch Ammoniak entweicht:

$$\underbrace{3\ C^2\ H^4\ N^2\ O^2}_{\text{Harnstoff}} = 3\ N\ H^3 + \underbrace{C^6\ N^3\ O^3 + 3\ HO.}_{\text{Cyanursäure.}}$$

Durch Destillation wird sie eben so wie die Cyanilsäure umgewandelt; durch Kochen mit Säuren zerfällt sie in Kohlensäure und Ammoniak, während die Cyanilsäure durch Behandeln mit Schwefelsäure in Cyanursäure übergeht.

Mit dem Wasserstoff kennen wir eine Verbindung des Cyans: die äußerst giftige Blausäure, Cyanwasserstoffsäure, Hydrocyansäure, Acidum borussicum, zooticum (Cy + H), auch Formonytril genannt. Nach Höfer *) war dies gefährliche Gift, durch Destillation aus Pfirsichblättern bereitet, bereits den ägyptischen Priestern, den ältesten Pflegern der Chemie bekannt. Dieser vernichtende Trank war die Strafe für die Eingeweihten, welche die Geheimnisse der Wissenschaft ausgeplaudert hatten und für die Frauen, welche sich des Ehebruches schuldig gemacht hatten. Entdeckt wurde die Blausäure 1782 durch Scheele **), genauer studirt durch Berthollet, Proust ***) und Ittner ****) und im reinen Zustande erst 1811 durch Gay-Lussac *****) dargestellt.

Die Blausäure kommt in der Natur fertig gebildet vor, jedoch nur in kleiner Menge und zwar in den wasserreichen Theilen einiger Drupaceen. Die äußerst giftigen Eigenschaften des frischen Stärkmehles der Jatropha manihot schreibt Henry gleichfalls einem Gehalte an Blausäure zu, die beim Erhitzen zerstört wird. In reichlicher Menge erzeugt sich die Blausäure bei der Digestion gewisser Theile der Drupaceen, z. B. der zerstoßenen Samen, in Wasser aus dem darin enthaltenen Amygdalin. Am bedeutendsten ist der Gehalt desselben in den bittern Mandeln; weiter kommt es nur in den Kernen der Aprikosen, Pfirsiche, Kirschen und Zwetschen, so wie auch in den Lorbeerweiden- und Pfirsichblättern, so wie in den Blüthen der letzteren vor. Alle Wässer, die von diesen Pflanzentheilen durch Destillation erhalten worden sind, enthalten eine gewisse Menge Blausäure; eben so auch gewisse Liqueure, wie z. B. Persico und Kirschwasser, die auf ähnliche Art fabricirt werden. Außerdem tritt die Blausäure noch als Product bei mannichfachen Zersetzungsprocessen organischer Verbindungen auf; so bei der Einwirkung verschiedener Oxydationsstufen des Stickstoffs auf Kohlenhydrate oder ätherische Oele, bei der trockenen Destillation vieler stickstoffhaltiger organischer Substanzen, bei der Destillation von Protein- und Leimsubstanzen mit chromsaurem Kali und Schwefelsäure, bei der Zersetzung des ameisensauren Ammoniaks in der Rothglühhitze

$$(\underbrace{C^2\ H O^3,\ NH^4\ O}_{\text{Ameisensaures Ammoniak}} = \underbrace{C^2\ N H}_{\text{Blausäure}} + 4\ HO),$$

der wässerigen Lösung des Cyans, der knallsauren Salze etc.

*) Histoire de la Chimie. T. I. p. 226.
**) Opuscula. T. II. p. 148.
***) Ann. de Chim. T. LX. p. 185 u. 225.
****) Beiträge zur Geschichte der Blausäure 1809.
*****) Ann. de Chim. T. LXXVII. p. 128 u. T. XCV. p. 136.

Im reinsten Zustande erhält man die Blausäure, wenn man getrocknetes Schwefelwasserstoffgas über Cyanquecksilber leitet ($Hg\,Cy + S\,H = HgS + Cy\,H$) oder indem man die genannte Cyanverbindung mit concentrirter Chlorwasserstoffsäure übergießt und die Dämpfe der entweichenden Blausäure über Marmor und Chlorcalcium leitet ($Hg\,Cy + Cl\,H = Hg\,Cl + Cy\,H$) oder auch, indem man ameisensaures Ammoniak bis auf 200° erhitzt. Bei der Darstellung der wasserfreien Blausäure hat man die größte Vorsicht anzuwenden, da sie unstreitig unter allen Giften das am schnellsten wirkende ist. Schon das unvorsichtige Oeffnen einer Flasche, die concentrirte Blausäure enthält, verursacht Kopfschmerz, starkes Zusammenziehen der Brust, Schwindel und große Uebelkeit; der Dampf der wasserfreien Blausäure tödtet auf der Stelle.

Die wasserfreie Blausäure ist eine wasserhelle Flüssigkeit, welche den Geschmack und Geruch der bitteren Mandeln besitzt, bei — 15° in kleinen Nadeln erstarrt und bei + 26°,5 siedet. Sie verdunstet so schnell, daß in Folge der hierbei entstehenden Kälte ein Theil erstarrt. Specif. Gewicht = 0,69 bei + 17°. Angezündet verbrennt die Blausäure mit blauer Flamme zu Kohlensäure und Wasser, während der Stickstoff frei entweicht. Die Blausäure darf, ähnlich wie die Kohlensäure Lackmuspapier nur schwach und vorübergehend röthen, das Gegentheil zeigt die Anwesenheit starker Säuren an, durch welche die Blausäure bei Gegenwart von Wasser sehr bald in Ameisensäure und Ammoniak umgesetzt wird ($C^2NH + 3HO = C^2HO^3, NH^3$). Mit Wasser, Weingeist und Aether mischt sich die Blausäure in allen Verhältnissen, jedoch sind diese Lösungen besonders am Lichte sehr wenig haltbar.

Die wasserhaltige Blausäure dient als Heilmittel; im Allgemeinen stellt man sie dar durch Zersetzen eines Cyanmetalles durch eine Säure. Begreiflicherweise kann sie demnach auf die verschiedenste Art dargestellt werden. Am gewöhnlichsten wendet man das gelbe Blutlaugensalz und zwar auf 2 At. desselben 6 At. Schwefelsäure und die nöthige Menge Wasser an. 100 Th. Blutlaugensalz liefern in der Regel 17 bis 18 Th. Blausäure, bei deren Darstellung besonders auf die Abkühlung der Vorlage Acht gegeben werden muß. Die officinelle Blausäure ist also nur eine Lösung der Blausäure in Wasser, zeigt also in ihren Eigenschaften sich übereinstimmend mit dieser. Um der Zersetzung vorzubeugen oder sie wenigstens zu verzögern, hat man einen sehr geringen Zusatz von Ameisensäure vorgeschlagen; durch Alkalien wird die Zersetzung beschleunigt.

Bei der energischen Wirkung von Blausäure ist es von Wichtigkeit den Gehalt der medicinischen Blausäure, so wie des Kirschlorbeer- und Bittermandelwassers stets genau zu bestimmen. Man bedient sich hierbei am besten der von Liebig angegebenen Methode *), die darauf beruht, daß ein At. Cyankalium mit einem At. Cyansilber eine lösliche Verbindung eingeht, welche durch überschüssiges Kali nicht zersetzt wird. Man versetzt die zu prüfende Flüssigkeit mit Aetzkali bis zur stark alkalischen Reaction und dann mit einer titrirten Silberlösung bis zur beginnenden, bleibenden Trübung. Der Gehalt an Blausäure läßt sich dann leicht berechnen, da 1 At. des verbrauchten Silbers in der verwendeten Lösung genau 2 At. Blausäure entspricht. Die blausäurehaltigen destillirten

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXVI. S. 102.

Wässer sind stets durch Oeltröpfchen getrübt; man muß sie daher erst durch Verdünnen mit dem 3 bis 4fachen Volumen Wasser klar machen, um die Grenze der Reaction scharf wahrnehmen zu können. Man kann auch die Bestimmung auf folgende Weise ausführen. Man versetze die Flüssigkeit mit einem Gemisch von Ammoniak und salpetersaurem Silberoxyd und füge dann behutsam Salpetersäure hinzu, bis die Flüssigkeit kaum sauer reagirt. Der Niederschlag wird auf einem bei 100° C. getrockneten und gewogenen Filter gesammelt, bei der angegebenen Temperatur getrocknet und gewogen. 15 Th. Cyansilber entsprechen 3 Th. wasserfreier Blausäure. Einfacher ist es das Cyansilber bei Luftzutritt in einem Porzellantiegel zu glühen und den Blausäuregehalt aus dem metallischen Silber zu berechnen. Hier entsprechen 12 Th. Silber 3 Th. der wasserfreien Blausäure.

Die gewöhnlichsten Reagentien auf Blausäure oder lösliche Cyanverbindungen sind salpetersaures Silberoxyd und schwefelsaure Eisenoxyd-Oxydullösung. Ersteres bringt einen weißen Niederschlag von Cyansilber hervor, der sich in Ammoniak nur schwierig löst und in Salpetersäure unlöslich ist. Bei der Anwendung des Eisenvitriols muß stets Alkali zugegen sein, also erforderlichen Falls hinzugesetzt werden. Es entsteht dann ein Niederschlag von Berlinerblau, der aber, wenn ein Ueberschuß von Alkali vorhanden ist, durch das gleichzeitig gefällte Eisenoxydoxydulhydrat verdeckt wird. Um die Reaction deutlich hervortreten zu lassen, entfernt man letzteres durch Zusatz von Salzsäure. Eben so wie beim Eisenvitriol hat man bei dem Zusatz von schwefelsaurem Kupferoxyd zu verfahren. Es wird hier weißes Kupfercyanür gefällt. Nach Lassaigne soll man dadurch noch $^1/_{20000}$ Blausäure nachweisen können. Nur bei dem Cyanquecksilber sind die angegebenen Reagentien nicht anzuwenden. Man zerlegt dasselbe entweder durch Schwefelwasserstoffgas oder durch Salzsäure und metallisches Eisen. Dadurch wird das Quecksilber abgeschieden und in der Lösung entdeckt man nun leicht die Cyanwasserstoffsäure. Eine überaus empfindliche Reaction ist folgende: man setzt zu der zu prüfenden Flüssigkeit 1 oder 2 Tropfen gelben Schwefelammoniums und eine Spur von Ammoniak und erwärmt das Ganze in einem Uhrgläschen, bis Farblosigkeit eingetreten ist. Dadurch hat man das Cyan in Schwefelcyanammonium (Rhodanammonium) umgewandelt und dieses giebt, selbst in den geringsten Spuren, bei Zusatz von Eisenchlorid, eine intensiv blutrothe Färbung. — Handelt es sich darum, in Vergiftungsfällen die Blausäure nachzuweisen, so destillirt man z. B. den Mageninhalt mit Wasser. In dem Destillat läßt sich nun leicht auf die angegebenen Weisen die Blausäure entdecken.

Als Heilmittel bei Vergiftungen durch Blausäure empfiehlt man allgemein das Einathmen von Ammoniak, Chlorwasser und Eisenoxydoxydulhydrat. Es ist hierbei aber von großer Wichtigkeit, daß diese Mittel augenblicklich angewendet werden. Von ganz besonderem Erfolge sollen sich nach Herbst kalte Begießungen erweisen. Nach seinen Versuchen können die Wirkungen der Blausäure, selbst wenn sie in größerer als tödtlicher Dosis in den Körper gebracht ist, binnen kurzer Zeit durch kalte Begießungen des Kopfes, des Rückens und selbst des ganzen Körpers mit Erfolg bekämpft werden.

Mit dem Chlor geht das Cyan drei merkwürdige, polymere Verbindungen ein: 1) das gasförmige Chlorcyan (Cy Cl), 2) das flüssige Chlorcyan (2 Cy + 2 Cl) und 3) das feste Chlorcyan (3 Cy + 3 Cl). — Das Jodcyan (Cy J) krystallisirt in langen weißen Nadeln und das Bromcyan (Cy Br) in farblosen Nadeln oder

Würfeln. — Mit dem Schwefel geht das Cyan nur Verbindungen ein, die auch als eigenthümliche Radicale betrachtet werden. Es sind dies das Rhodan, Xanthan, Rubean und Flavean. Nimmt man in ihnen ein gemeinsames Radikal, das Schwefelcyan (CyS oder Csy an, so läßt sich ihre Zusammensetzung leichter übersehen. Hiernach ist Rhodan *) $C^2 N S^2 = Csy + S$,

Xanthan $C^2 N S^3 = Csy + 2 S$,

Rubean $C^2 H N S^2 = Csy + S H$ und

Flavean $C^4 H^2 N^2 S^3 = 2 Csy + S H + H$.

Bei den Verbindungen des Cyans mit den Metallen unterscheidet man die Cyanüre und die Cyanide. Die Cyanmetalle haben die Eigenthümlichkeit, sich unter einander zu Doppelcyanüren zu verbinden. Berzelius betrachtet diese Verbindungen als wirkliche Salze, Gay-Lussac und Liebig aber als Verbindungen eigenthümlicher, aus Cyan und Metall bestehender Radikale.

Durch Playfair ist 1849 eine neue Klasse von Cyanverbindungen entdeckt, die er nicht ganz geeignet Nitroprusside **) nennt. Läßt man auf das gelbe Blutlaugensalz Salpetersäure einwirken, so entweicht Cyan, Blausäure, Stickstoff und Kohlensäure, während die Säuren der Nitroprusside und Oxamid entstehen. Sättigt man dann die Flüssigkeit mit kohlensaurem Kali oder Natron, so erhält man Nitroprussid-Kalium oder Natrium in prachtvoll rubinrothen Krystallen. Diese Farbe zeigen die löslichen Salze überhaupt. Die Cu, Ni, Ca, Fe, Zn und Ag Verbindungen sind fast unlöslich. — Das Nitroprussid-Natrium ist ein äußerst empfindliches Reagens auf Schwefel, so daß man dadurch den Schwefelgehalt in einem einzigen menschlichen Haar entschieden nachweisen kann.

Mit dem Namen Paracyan ***) belegt man eine Reihe von braunen oder schwarzen, N und C enthaltenden Körpern, die nicht flüchtig sind und auf sehr verschiedene Weise aus verschiedenen Cyanverbindungen entstehen. Je nach ihren verschiedenen Entstehungsweisen besitzen sie auch verschiedene Eigenschaften. So viel auch diese Verbindungen untersucht worden sind, ganz im Klaren ist man über sie doch noch nicht.

Mit dem Schwefel verbindet sich der Kohlenstoff zwar direct, aber erst in höherer Temperatur. Die einzige Verbindung, die man mit Sicherheit kennt, ist der Schwefelkohlenstoff, Kohlensulfid, auch Schwefelkohlenstoffsäure, Schwefelalkohol genannt. Chemische Formel: $C S^2$. Aequivalent: 475 ($O = 100$) oder 38 ($H = 1$). In 100 Th. 15,8 C und 84,2 S. Zusammensetzung in Gasform:

---

*) Die Rhodanwasserstoffsäure oder Schwefelblausäure $C^2 NS^2 + H$ findet sich im Speichel des Menschen und des Schafes. Man hat sie als den Träger des Wuthgiftes ansehen wollen, allein diese Säure ist nur ein sehr schwaches Gift und überdies ist durchaus nicht nachgewiesen, daß sie sich bei der Wuthkrankheit in übermäßiger Menge erzeugt.

**) Phil. Mag. [3] Vol. XXXVI. p. 197, 271 u. 348. Journ. f. prakt. Chem. Bd. L. S. 36. Liebig's Jahresb. 1849. S. 300. Journ. de Chim. et de Pharm. [3] T. XVII. p. 441. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXIV. S. 340. Journ. de Chim. méd. [3] T. VIII. p. 321. Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXXII. S. 270. Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 107 u. 110. Phil. Mag. [4] Vol. VI. p. 11. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIX. S. 302. Vierteljahrsch. f. prakt. Pharm. Bd. II. S. 239.

***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXII. S. 280 u. Bd. L. S. 357. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 84. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLI. S. 164 u. Bd. XXXI. S. 226.

½	Vol. Kohlendampf	0,4146
1	Vol. Schwefeldampf	2,2112
		2,6258.

Der Schwefelkohlenstoff wurde 1796 von Lampadius entdeckt, als er ein Gemenge von Schwefelkies und Kohle der Destillation unterwarf. Näher untersucht wurde diese Verbindung jedoch erst später von Berthollet, Vauquelin und Thénard. Eine bessere Methode als die, welche Lampadius für die Darstellung des Schwefelkohlenstoffs angegeben hat, ist die, daß man Schwefeldampf über glühende Holzkohlen leitet. Graphit oder Koks sind nicht anwendbar, da diese selbst nicht in der stärksten Rothglühhitze von Schwefel angegriffen werden. Man bringt ein weites Rohr aus Thon in einem gut ziehenden Ofen und zwar in etwas geneigter Lage an, füllt dasselbe mit Kohlen und erhitzt nun zum Glühen. Dann trägt man in nicht zu langen Zwischenräumen durch die hintere, höher liegende Oeffnung den Schwefel in kleinen Mengen ein, wobei nach dem jedesmaligen Eintragen die Oeffnung wieder mit einem Thonstöpsel geschlossen wird. Der Schwefeldampf zieht über die glühenden Kohlen hin, nimmt Kohlenstoff in sich auf und der Schwefelkohlenstoffdampf zieht durch das Abzugsrohr an der vorderen Seite in die Vorlage, die stets gut abgekühlt werden muß. Es ist gut, noch eine zweite Vorlage anzubringen, in welche die Dämpfe zuerst eintreten, damit sich hier der unverändert überdestillirte Schwefel ansammle. Die Vorlage, in der sich der Schwefelkohlenstoff ansammelt, ist halb mit Wasser gefüllt, jedoch darf das Ableitungsrohr nicht bis unter die Oberfläche der in der Vorlage befindlichen Flüssigkeit reichen. Ueberhaupt muß Alles vermieden werden, wodurch den abziehenden Dämpfen ein Widerstand entgegengesetzt wird, um den Verlust an Ausbeute nicht zu vergrößern.

Schrötter hat *) für die Darstellung des Schwefelkohlenstoffs im Großen einen anderen Apparat construirt. Es ist dies ein 2 Fuß hohes und 10 Zoll weites cylindrisches Gefäß, auf dessen obere 3 bis 4 Zoll weite Oeffnung ein Helm aufgesetzt wird. Dicht über dem Fuß des Cylinders ist ein Rohr angesetzt, das zum Ofen herausragt und zum Eintragen des Schwefels dient. Auf diese Weise will Schrötter binnen 12 bis 14 Stunden aus 50 Pfund Schwefel gegen 40 Pfund Schwefelkohlenstoff erhalten. Der Verlust ist darnach sehr beträchtlich und rührt wohl daher, daß die Dämpfe des Schwefelkohlenstoffs zum Theil durch die porösen Wände entweichen. Gmelin **) empfiehlt deshalb einen ähnlichen Apparat aus Gußeisen.

Die Kohle, welche nach Beendigung der Operation zurückbleibt, ist sehr zerfressen und enthält Schwefel so innig verbunden, daß er durch Hitze nicht entfernt werden kann. Ob dies eine eigene Verbindung von Kohlenstoff und Schwefel ist, hat man noch nicht erforscht. — Das in die Vorlage übergegangene Product enthält stets Schwefelwasserstoff und Schwefel, wovon es durch Schütteln mit verdünnten Lösungen von kohlensaurem Natron und Rectification bei sehr gelinder Wärme befreit wird. Entwässert wird es dann durch Chlorcalcium.

Der Schwefelkohlenstoff ist eine farblose, schwere, leichtbewegliche Flüssigkeit,

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXXIX. S. 297.
**) Handbuch d. Chem. 4. Aufl. Bd. I. S. 639.

die einen höchst unangenehmen Geruch, einen scharfen, aromatischen Geschmack und ein ausnehmend starkes Lichtbrechungsvermögen besitzt. Specif. Gew. 1,272. Wegen seiner großen Flüchtigkeit erregt der Schwefelkohlenstoff ähnlich wie der Aether auf der Haut das Gefühl einer bedeutenden Kälte; im luftleeren Raum steigt die Verdunstungskälte bis auf — 60° C. In der Luft tritt bei 47° das Sieden ein. Wegen der großen Flüchtigkeit bewahrt man den Schwefelkohlenstoff gewöhnlich unter Wasser auf, worin er nicht löslich ist. Wohl aber nimmt das Wasser den Geruch und Geschmack des absorbirten Gases an. In Alkohol und Aether ist er löslich, so wie auch mischbar mit flüchtigen und fetten Oelen. An der Luft entzündet sich der Schwefelkohlenstoff nicht allein an einem brennenden Körper, sondern auch schon, wenn er bis auf 360° erhitzt worden ist und verbrennt mit blauer Flamme zu schwefliger Säure und Kohlensäure. Mit Sauerstoff gemischt verpufft der Dampf sehr heftig, wenn er durch den elektrischen Funken entzündet wird. Läßt man einige Tropfen in Sauerstoff oder Stickstoffoxydgas verdampfen, so verbrennt das angezündete Gemisch ohne Explosion, aber mit einer äußerst intensiven und schnell erlöschenden Flamme.

Der Schwefelkohlenstoff ist ein ausgezeichnetes Lösungsmittel für Schwefel, Phosphor und Jod; nach dem Verdampfen des Lösungsmittels scheiden sich diese Körper in schönen Krystallen aus und zwar der Schwefel in Octaëdern. Außerdem löst er auch Campher und Harze auf. Man bedient sich seiner in der analytischen Chemie zur Trennung des Schwefels (z. B. bei der Analyse des Schießpulvers) und in der Technik zum Vulkanisiren des Kautschuk. Seiner allgemeinen technischen Verwendung steht zwar der hohe Preis (20 Sgr. pro Pfund) entgegen, doch kann er in Mengen von 100 Pfund und mehr ungleich billiger aus chemischen Fabriken bezogen werden. Der Schwefelkohlenstoff dient auch als Arzeneimittel und in der neuesten Zeit gebraucht man ihn gleichfalls statt des Aethers oder Chloroforms zum Betäuben bei schmerzhaften Operationen.

In seiner Zusammensetzung hat der Schwefelkohlenstoff große Aehnlichkeit mit der Kohlensäure, nur daß hier die 2 At. Sauerstoff durch 2 At. Schwefel ersetzt sind. Gegen Schwefelbasen (Schwefelkalium 2c.) spielt derselbe die Rolle einer Säure und bildet mit diesen eine Reihe von Salzen (Kohlensulfidsalze, Sulfocarbonate, Schwefelkohlenstoff-Schwefelmetalle), die wiederum mit den kohlensauren Salzen in der chemischen Zusammensetzung große Aehnlichkeit haben, indem der Sauerstoff dieser in jenen durch Schwefel vertreten wird. — Mit Schwefelwasserstoff bildet der Schwefelkohlenstoff eine eigenthümliche Säure: die Kohlenschwefelwasserstoffsäure: $CS^2 + SH$ oder CS^3H. Sie hat jedoch nur eine geringe Beständigkeit.

Bei der Darstellung des Phosphors verbindet sich stets ein Theil desselben mit Kohle, durch welche die Reduction der Phosphorsäure bewirkt wird. Preßt man den geschmolzenen Phosphor unter Wasser durch Leder, so bleibt der Phosphorkohlenstoff zurück, der durch Destillation bei gelinder Wärme von dem überschüssigen Phosphor befreit werden kann.

Obgleich sich der Kohlenstoff direct durchaus nicht mit dem Chlor verbindet, kann man doch durch Einwirkung von Chlor auf verschiedene Kohlenwasserstoffe oder auf Schwefelkohlenstoffe solche Verbindungen erzeugen. Bei ersteren wird der Wasserstoff allmälig in Chlorwasserstoffsäure verwandelt und durch gleiche Aequivalente Chlor ersetzt. Die einfacheren Verbindungen sind:

das Kohlenchlorür $C^2\ Cl$, dem wir keine Sauerstoffverbindung des Kohlenstoffs an die Seite setzen können,
» Kohlenchlorid $C\ Cl$, dem Kohlenoxyd entsprechend,
» Kohlensuperchlorür $C^2\ Cl^3$, der Oxalsäure entsprechend und
» Kohlensuperchlorid $C\ Cl^2$, der Kohlensäure entsprechend.

Von diesen wird das Kohlensuperchlorür bisweilen als Arzeneimittel — auch gegen die Cholera — angewendet. Es entsteht durch Einwirkung von Chlor auf ölbildendes Gas bei Gegenwart von Wasser. Es ist ein weißer, krystallinischer, fast geschmackloser Körper, der einen campherartigen Geruch besitzt. — Verbindungen des Kohlenstoffs mit Brom und Jod sind nicht bekannt.

Zeigt auch der Kohlenstoff geringe Neigung sich mit Metallen zu verbinden, so kennen wir doch eine große Menge von Kohlenmetallen, da namentlich die Kohle häufig als Reductionsmittel bei der Darstellung von Metallen verwendet wird. Man kann dergleichen Verbindungen aber auch direct durch Zusammenschmelzen der Kohle mit Metallen erhalten, auch durch Zersetzung solcher Metallsalze, deren Säure eine organische ist, oder der Cyanmetalle durch Glühen. In der Natur kommen Kohlenmetalle nur äußerst selten vor; man würde sagen können nie, wenn man nicht zu Canaan in Connecticut gediegen Eisen gefunden hätte, in welchem sich deutlich ausgeschiedener Graphit vorfand *). Dies ist aber auch der einzige Fund dieser Art, der überhaupt gemacht worden ist. Wie sehr selbst geringe Beimengungen von Kohlenstoff die Eigenschaften mancher Metalle verändern, zeigt uns am deutlichsten das Eisen, das überhaupt unter allen Metallen, mit Ausnahme des Mangans, die größte Neigung besitzt, sich mit Kohlenstoff zu verbinden, in seinen verschiedenen Modificationen als Roheisen, Stabeisen und Stahl. Auch beim Kupfer werden einige Eigenschaften selbst bei einem Gehalte von nur 0,2 Proc. Kohlenstoff verändert. Nickel wird dadurch spröde und messinggelb; besonders aber Palladium und Platin. W. B.

Kohlenwasserstoffgas, s. Kohlenstoff.

Koluren (v. dem griech. *κόλουρος*, stutzschwänzig, abgestumpft, von *κόλος*, verstümmelt und *οὐρά*, Schwanz) heißen zwei größte Kreise der Himmelskugel, die sich in den Polen kreuzen, also auf dem Aequator senkrecht stehen, und von denen der eine, der Kolur der Nachtgleichen, durch die beiden Nachtgleichenpunkte, 0° ♈ und 0° ♎, der andere, der Kolur der Sonnenwenden, durch die beiden Sonnenwendepunkte, 0° ♋ und 0° ♑, geht. Diese beiden Kreise dienen zur Unterscheidung der vier Jahreszeiten: Frühling, Sommer, Herbst und Winter. Nach Kepler **) sollen die Koluren ihren Namen von dem Umstande erhalten haben, daß wir niemals ihr dem unteren Pole zugekehrtes Ende wahrnehmen können. H. C.

Kometen (v. d. griech. *κόμη*, Haar), Haarsterne, Schwanzsterne, Schweifsterne sind diejenigen Sterne, welche durch eine nebelige Umhüllung, gewöhnlich auch durch einen von der Sonne abgekehrten feuerigen Schweif sich von den übrigen Sternen unterscheiden. Sie bewegen sich unähnlich den Planeten in

*) Sillim. amer. Journ. Vol. XII. p. 154.
**) Epitome. T. II. N. IX. X.

allen möglichen Richtungen und können eben so gut in den polaren, als in den äquatorealen oder zodiakalen Gegenden des Himmels erscheinen.

Durch die Ungewöhnlichkeit ihrer Erscheinung und durch den imposanten Anblick, welchen sie beim Näherkommen darbieten, sind sie beängstigend für den Unkundigen, und mußten daher in Zeiten, in denen man sie für Meteore hielt, weil man keine Ahnung hatte, daß auch sie regelmäßige Bahnen beschrieben, alle also unerwartet erschienen, und wo man noch jede ungewöhnliche schreckhafte Erscheinung am Himmel für drohende Zeichen der zürnenden Gottheit hielt, der Gegenstand des Aberglaubens sein, welcher aus ihnen Pest, Krieg, Ueberschwemmungen und dergleichen weissagte *).

Die Anzahl der beobachteten Kometen von Christi Geburt bis Mitte des neunzehnten Jahrhunderts, wenn man die in den Annalen der verschiedenen chinesischen Dynastien **) erwähnten hinzurechnet, beläuft sich auf mehr als 600; jedoch dürfte die wahre Anzahl nicht unter 3000 betragen, da seit dem Gebrauche des Fernrohrs eine weit größere Menge wahrgenommen worden ist. In den Jahren 1819, 1825 und 1840 sind allein je vier, 1826 fünf und 1846 sogar acht Kometen beobachtet und berechnet worden.

Wir geben folgende Uebersicht:

Jahrhundert	Kometen, beobachtet in Europa u. China	Jahrhundert	Kometen, beobachtet in Europa u. China
1.	22	11.	36
2.	23	12.	26
3.	44	13.	26
4.	27	14.	29
5.	16	15.	27
6.	25	16.	31
7.	22	17.	25
8.	16	18.	64
9.	42	19. (erste Hälfte)	80
10.	26	Im Ganzen	607

Die Kometen sind in der Regel nur 2 bis 3 Monate, höchstens 6 bis 7 Monate dem unbewaffneten Auge sichtbar, durch Fernröhre hat man sie jedoch bisweilen über ein Jahr lang beobachtet. So ist z. B. der berühmte Komet von 1811 510 Tage lang gesehen worden, der von 1825 358 Tage, Halley's Komet

*) Ludwig der Fromme wurde durch das Erscheinen eines Kometen (837) in Schrecken gesetzt und befahl die Erbauung von Kirchen und Klöstern. — Der 1456 erscheinende (Halley'sche) Komet setzte den Papst Calixt III. in die größte Furcht; in allen Kirchen veranlaßte er öffentliche Gebete, und Tag und Nacht wurden die Glocken geläutet. Von daher soll sich der in der katholischen Christenheit allgemeine Gebrauch schreiben, die Glocken um die Mittagszeit zu läuten (?) — Carl V. soll eben so durch einen Kometen zu dem Entschlusse gebracht worden sein, die kaiserliche Krone seinem Sohne Ferdinand zu übergeben.

**) Biot, Catalogue des comètes observées en Chine depuis l'an 1280—1640 de notre ère.

1835 286 T., 1844 (Mauvais Komet) 246 T., 1847 (Colla's Komet) 240 T., 1847 (Mauvais II.) 285 Tage. Sie nähern sich im Laufe dieser Zeit gewöhnlich den Sonnenstrahlen so sehr, daß sie am Himmel verschwinden, mit der Sonne zugleich am Himmel stehen, aber zuweilen mit bewaffnetem Auge am Tage wahrgenommen werden können.

Die scheinbare Bewegung der Kometen unter den Fixsternen erscheint sehr unregelmäßig; sie haben mit den übrigen Sternen nur die tägliche scheinbare (durch die Umwälzung der Erde verursachte) Bewegung von Osten nach Westen gemein. Auf den Lauf der Kometen während ihrer Sichtbarkeit hat nicht nur die Entfernung derselben von der Erde, sondern auch die Richtung ihres wahren Laufs, bezogen auf die Bewegung der Erde, Einfluß. Im Jahre 1729 beschrieb ein Komet in 6 Monaten nur einen Bogen von 15° am Himmel, während ein anderer im Jahre 1769 240° in Länge durchlief. Unter ganz besonders günstigen Umständen könnte ein Komet in einer einzigen Stunde 140° und in einem Tage 178° am Himmel beschreiben. Die Bewegung desselben müßte der der Erde entgegengesetzt sein; er selbst müßte in Opposition mit der Sonne und gleichzeitig im Perihelium stehen, sich in der Ebene der Ekliptik bewegen und der Erde so nahe kommen wie der Mond.

Wenn ein Komet nur mit bewaffnetem Auge zu sehen ist, so erscheint er meistens nur als eine rundliche, mehr oder weniger gegen das Innere zu verdichtete Masse. Ist derselbe dem bloßen Auge sichtbar, so geht von dieser Masse, dem sogenannten Kometenkopfe, meistens in einer der Sonne entgegengesetzten Richtung ein Schweif von dünner Nebelmasse aus. Die Mitte des Kopfes ist bisweilen durch einen sternähnlichen Lichtpunkt, Kern, bezeichnet; bisweilen auch durch ein schärfer begrenztes planetenähnliches Scheibchen; meistens jedoch ist gegen die Mitte hin nur ein stärkerer Grad der Verdichtung bemerkbar, so daß das Ganze im Fernrohre wie verwaschen aussieht. Namentlich ist das Letztere bei Beobachtungen durch stark vergrößernde Fernröhre der Fall. Mehrere Astronomen erwähnen auch bei Beobachtungen großer Kometen eines Mantels, nämlich eines lichten Randes, welcher den Kometenkopf auf der der Sonne zugewendeten Seite ganz umgiebt und die anderen Seiten so umschließt, daß seine Ausläufer den Anfang des Schweifes bilden. Mit Haar bezeichnet man den dünnen Nebel, welcher den stark verdichteten stern- oder planetenartigen Kern umgiebt.

Einige Kometen sind so lichtstark gewesen, daß man sie am hellen Tage sehen konnte, daß sie des Nachts die Sterne erbleichen machten und wie der Mond einen Schatten warfen. Zu den am Tage gesehenen Kometen gehörten z. B. die Kometen von 1402, 1532, 1744, 1843 und 1847. Bei den meisten ist der Kopf weiß, oder er hat ein bleiches, wasserhelles Ansehen; bisweilen jedoch zeigt der innerste Theil eine mattrothe oder gelbliche Färbung, seltener eine grünliche. Ein planetarischer Kern kommt selten vor; von einer soliden Masse desselben kann wohl nie die Rede sein. Den Kern des großen Kometen von 1680 vergleichen einige Beobachter mit einer feurigen Kohle, roth und glühend; dasselbe gilt von dem Halley'schen Kometen im Jahre 1835. Der Komet von 1652 war bleich und unscheinbar; der von 1744 von blendender Helligkeit. Der Kopf des Kometen von 1618 soll aus mehreren hellen Kernen bestanden haben, eben so wird dies von den Kometen der Jahre 1661 und 1665 angegeben.

Das Auffallendste an den Kometen ist der Schweif. Im Allgemeinen ist

derselbe von der Sonne abgewendet *), doch liegt er nicht immer genau in der Linie, welche von der Sonne durch den Kopf des Kometen gerichtet ist. Der Komet von 1577 zeigte z. B. eine Abweichung von 21°, der von 1680 eine solche von 5°. Manche Kometen bieten uns gar nicht die Erscheinung eines Schweifes dar, sondern ihr Nebel ist nach allen Seiten ziemlich gleich ausgebreitet, und sie gleichen einem runden Nebelfleck, oder zeigen sich etwas elliptisch, in der Mitte am meisten verdichtet. Andere Kometen haben mehr als einen Schweif: z. B. der im Jahre 1851 zeigte noch einen kleineren der Sonne zugewendeten; der vom Januar 1824 war mit zwei Schweifen versehen, die einen zwischen 138 und 170 Grad wechselnden Winkel einschlossen; der Schweif des Kometen von 1744 war sechsfach. Bisweilen ist der Schweif säbelförmig gekrümmt, z. B. bei dem Kometen von 1811 nach außen, bei dem von 1618 nach innen, d. h. gegen die Seite, nach welcher hin der Komet sich bewegte.

In der Regel nimmt der Schweif an Größe zu, je näher der Komet der Sonne kommt. So war der Schweif des Kometen von 1665 anfangs $2^1/_2$, später 5 Millionen Meilen lang. Bei weiterer Entfernung des Kometen von der Sonne nimmt dann die Länge des Schweifes wieder ab. So war bald nach der Sonnennähe der Schweif des Kometen von 1811 zwölf Millionen Meilen lang, nach 2 Monaten aber nur noch 5 Millionen Meilen. Die Veränderungen in der Länge des Schweifes bei demselben Kometen während der Dauer seiner Sichtbarkeit haben übrigens, namentlich wenn sie vorübergehend sind, ihren Grund höchst wahrscheinlich in mehr oder weniger zufälligen Verhältnissen unserer Atmosphäre. Ungleichheiten in der Reinheit der Luft, durch welche wir den Kometen beobachten, werden derartige Veränderungen zur Folge haben. Auch der Mond ist von Einfluß; denn bei leuchtendem Vollmonde muß das immer mehr an Helligkeit abnehmende Ende des Schweifes an Sichtbarkeit verlieren. Am 9. September 1769 beobachtete man an verschiedenen Stationen die Länge des Schweifes eines und desselben Kometen zu 43°, 55°, 60°, 75°. Die ungeheure Länge des Schweifes geht aus diesen Angaben schon hervor; es mögen indessen noch einige Beispiele hier Platz finden: 100° bei einem Kometen vom Jahre 1264; 60° bei dem Halley'schen von 1456; 104° bei dem vom Winter 1618; 90° im Jahre 1680; 60° im J. 1689; 45° bis 65° im J. 1843.

Ein auffallendes Phänomen hat man an manchen großen Kometenschweifen wahrgenommen, nämlich sogenannte Strahlenschüsse, d. h. scheinbare momentane Verlängerungen und Ausbreitungen des Schweifes. Unwillkürlich wird man hierbei an die ähnlichen Bewegungen bei den Nordlichtern erinnert. Es beginnen diese Strahlenschüsse an dem Kopfe des Kometen und erstrecken sich in wenigen Secunden durch die ganze Länge des Schweifes **). Lange Zeit war man der Meinung, daß hier wirkliche Erzitterungen der kometarischen Masse zu Grunde lägen; Olbers und Brandes haben aber gezeigt, daß das Phänomen, ähnlich dem Funkeln der Sterne, von Ungleichheiten in der Heiterkeit der Luft abhängt. Daß diese Strahlenschüsse nicht auf einer wirklichen Aenderung im Leuchten des Schweifes beruhen können, scheint vorzüglich aus folgenden zwei Gründen zu erhellen. Erstlich könnte schwerlich irgend eine Wirkung durch die Länge des

*) v. Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 563.
**) v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 106—112.

Schweifes von 5, ja von 10 Millionen Meilen in wenigen Secunden fortgepflanzt werden, da selbst das Licht 2 Minuten braucht, um 5 Millionen Meilen zu durchlaufen; zweitens wenn auch eine fast den ganzen Schweif in demselben Augenblicke treffende Veränderung vorginge, wenn auch in der That jedes Schweiftheilchen plötzlich leuchtender würde, so könnte diese in demselben Augenblicke eingetretene Wirkung unserem Auge sich doch nicht als so gleichzeitig, oder als in wenigen Augenblicken erfolgt, darstellen. Denn wenn das eine Ende des Kometenschweifes 5 Millionen Meilen, das andere 10 Millionen Meilen von uns entfernt ist, so wird ein gleichzeitig durch alle Schweiftheilchen verbreitetes Leuchten uns vermöge der von dem näheren Ende ausgehenden Lichtstrahlen nach 2 Minuten, vermöge der von dem entfernten Ende ausgehenden Lichtstrahlen nach 4 Minuten sichtbar werden, und wir sehen gar nicht ein, wie es möglich wäre, daß jener plötzlich entstandene Glanz von allen Theilen des Schweifes her unser Auge gleichzeitig erreichte. Das Phänomen kann demnach kein objectives sein. Wir werden also den Grund, wie bei dem Funkeln der Sterne, darin zu suchen haben, daß zu gewissen Zeiten feine Dünste durch die Luft ziehen, die, ohne die Luft sichtbar zu trüben, sich uns doch durch eine ungleiche Brechung des Lichts kenntlich machen. Es werden diese Dünste hinreichen, um jene mattesten Theile des Kometenschweifes bald zu verdecken, bald sichtbar zu machen, und indem sie vor der Länge des Schweifes vorbeiziehen, den schöner hervorblinkenden Glanz uns als durch die ganze Länge des Schweifes fortlaufend zu zeigen. — An dem großen Kometen im März 1843 wurde das Phänomen neuerdings ganz entschieden beobachtet, um nur einen bestimmten Fall anzuführen.

Die wahre Größe der Kometen, der Durchmesser des Kernes oder des Haares, desgleichen die Länge des Schweifes, läßt sich bei den nicht scharfen Begrenzungen nicht mit Genauigkeit angeben. Bei dem Biela'schen Kometen fand man im J. 1805 den Durchmesser des Kernes 15 bis 27 Meilen, bei dem großen Kometen des J. 1811 93 M., bei dem zweiten desselben Jahres 570 M., bei dem 1815 von Olbers entdeckten 1150 M. Der 1845 mit unbewaffnetem Auge sichtbare Komet hatte einen hellen planetenähnlichen Kern von nahe 1700 Meilen. Es muß indessen wohl beachtet werden, daß der Kern desselben Planeten von sehr wandelbarer Größe ist, wie z. B. an dem Halley'schen Kometen im Januar 1836 eine gut begrenzte Scheibe von etwa 21000 Meilen in dem Kopfe desselben von Maclear beobachtet wurde, während im vorhergehenden Jahre der Kern in seinem Durchmesser nur von 55 bis 220 Meilen wechselte.

Eben so unsicher ist es mit dem Haare. 20000 bis 25000 Meilen ist das häufigste Maß des Durchmessers, selten überschreitet dasselbe 45000. Bei dem Encke'schen Kometen vom J. 1828 hat man aber 67000, bei dem Halley'schen vom J. 1836 78000 und bei dem großen Kometen von 1811 sogar 245000 Meilen gefunden. Am auffallendsten ist, daß die Durchmesser der Kometen bei ihrer Annäherung zur Sonne kleiner werden und bei zunehmender Entfernung wieder wachsen. An dem Encke'schen Kometen hat sich dies in den Jahren 1828 und 1838 entschieden herausgestellt. Bereits Kepler machte diese Bemerkung an dem großen Kometen des Jahres 1615.

Ueber die wahre Länge der Schweife haben wir oben bereits einige Angaben beigebracht. Es sei daher hier nur noch bemerkt, daß dieselben oft nur 100000 Meilen lang sind, in anderen Fällen aber 20 bis 30 Millionen Meilen

weit reichen. Der Schweif des großen Kometen von 1843 soll eine Länge von 35 bis 45 Millionen Meilen gehabt haben.

Das Licht, mit welchem die Kometen leuchten, ist höchst wahrscheinlich kein eigenes, sondern erborgtes. Arago *) hat durch sein Polariskop den Beweis geliefert, daß das Licht des großen Kometen von 1819 reflectirtes Licht enthielt, und ein gleiches Resultat erhielt man im J. 1835 an dem Halley'schen Kometen. Ob außer diesem reflectirten Sonnenlichte die Kometen nicht auch eigenes Licht haben, bleibt freilich noch dahingestellt. Ist doch selbst bei den eigentlichen Planeten, z. B. bei der Venus, eine selbstständige Lichtentwickelung sehr wahrscheinlich. Anderer Seits könnte man freilich auch annehmen, daß durch die Einwirkung der Sonne im Inneren der Kometen physische Veränderungen bedingt würden, durch welche ihre Reflectionsfähigkeit zeitweilig erhöht und geschwächt würde, um einige Beobachtungen zu erklären, die mit der Annahme eines blos reflectirten Sonnenlichts unverträglich scheinen. Olbers fand nämlich die Aenderung der Helligkeit des Kometen von 1780 nicht in Uebereinstimmung mit der Annahme, daß derselbe blos mit reflectirtem Lichte leuchte, und Galle's Komet vom J. 1840 zeigte nach Plantamour ähnliche Abweichungen.

Wenn der Kern der Kometen auch nur einigermaßen solid wäre, so müßten sich, ähnlich wie bei dem Monde, an demselben Phasen zeigen. Einige ältere Beobachtungen scheinen dafür zu sprechen; auch die Kometen von 1744, 1769 und 1819 haben eine mehr oder weniger deutliche Sichelform gezeigt. Im Allgemeinen jedoch sind die Kometen von einem so feinen Stoffe, daß man öfter sehr schwache Sterne durch diese 20 bis 25000 Meilen mächtigen Massen hindurch hat wahrnehmen können und zwar meistens ohne die geringste Lichtschwächung für den Stern. In einigen wenigen Fällen behaupten die Beobachter sogar eine Lichtzunahme an dem Sterne gefunden zu haben **). Entscheidend für die Frage, ob der Kern des Kometen ein fester Körper sei, wird die Beobachtung des Vorbeigehens des Kometen vor der Sonne sein. Ist nämlich der Kern ein fester Körper, so wird derselbe während des Vorübergehens vor der Sonne als ein dunkler Fleck auf dieser erscheinen müssen. Man hat bis jetzt jedoch noch nicht Gelegenheit gehabt, ein solches Vorübergehen zu beobachten.

Die Kometen: der zweite von 1819 und der von 1823 sind leider ungesehen vor der Sonne vorbeigegangen. Bessel ***) konnte am 29. September 1835 an dem Lichte eines Sternes 10. Größe, der sehr nahe an dem Centrum des Kopfes des Halley'schen Kometen stand, nicht die geringste Ablenkung von der geradlinigen Bewegung wahrnehmen. Es scheint demnach selbst das Centrum des Kopfes keine strahlenbrechende Kraft zu besitzen, und hiernach wird es schwer, den Kometenstoff für eine gasförmige Flüssigkeit zu halten.

Die Atmosphäre der Kometen, die neblige den Kern umgebende Hülle, ist, wie man fast mit Gewißheit behaupten kann, dieselbe Materie wie der Kern, nur im Zustande größerer Verdünntheit. Namentlich an dem Kometen von 1799

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XIII. p. 108. Biblioth. univers. T. XXXIV. p. 247. v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 111. Bd. III. S. 567.

**) Piazzi, Cat. nov. p. 152. 153.

***) Astron. Nachr. 1836. Nr. 301. S. 204—206; vergl. auch Nr. 303. S. 238.

hat man beobachtet, daß sein Kern zuweilen groß und deutlich, zuweilen klein und trübe erschien, was man als ein zeitweiliges Uebergehen der Masse des Kernes in Atmosphäre erklären kann. Indessen können auch Verdichtungen der Atmosphäre eine Verundeutlichung des Kernes zur Folge haben, so daß die Veränderung der Größe desselben nur scheinbar ist. Ueber das Wesen, die innere Natur der Kometen, so wie des Stoffes, sind unsere Kenntnisse noch ganz unvollkommen. Nach La Place *) wird die Masse des Kometen, sobald derselbe sich der Sonne nähert, immer mehr ausgedehnt, wie ja auch die irdischen Körper durch die Wärme Ausdehnung erleiden. Der (vielleicht feste oder tropfbarflüssige (?)) Kern verwandelt sich zum Theil (oder ganz, oder auch in Abwechselungen) in eine luftähnliche (?) dünne Flüssigkeit, die sich nun in Folge der Erwärmung ausdehnt. Diese Ausdehnung kann bei großer Annäherung an die Sonne so groß sein, daß die äußersten Grenzen der Hülle und des Schweifes des Kometen völlig verschwinden, derselbe also z. B. wie der von 1680 anfangs nach dem Heraustreten aus der Sonnennähe kleiner als vor dem Eintreten in dieselbe erscheint, obschon in der That vielmehr eine Zunahme der Ausdehnung stattgefunden hat. Bei der Ausdehnung der Atmosphäre des Kometen findet aber kein Verlust an Kometenmasse, etwa durch Verflüchtigung in den Aether, statt, sondern es erhält sich der Zusammenhalt des Ganzen, wie weit auch die Ausdehnung durch die Wärme gegangen sein mag. Je weiter sich hierauf der Komet von der Sonne entfernt, desto mehr zieht sich seine Masse in Folge der Wärmeabnahme wieder zusammen und die luftförmige Atmosphäre geht größtentheils in tropfbarflüssige oder gar feste Form über. Dabei wird sich bedeutende Wärme entbinden, und so kann sich vielleicht auf dem Kometen eine mittlere Temperatur erhalten, während ohne dies der Unterschied zwischen Hitze und Kälte in Sonnennähe und Sonnenferne ungeheuer sein würde. Auch in der Sonnennähe würde sich die mittlere Temperatur des Kometen wenigstens ohne allzu große Abweichung erhalten, weil je näher der Sonne, desto größer die Abdampfung sein, und bei dieser eine sehr bedeutende Quantität Wärme gebunden werden müßte.

In Betreff der Schweifbildung hat man die Annahme einer in dem Kerne oder allgemein in dem dichteren Theile des Kopfes enthaltenen Kraft nothwendig erachtet, welche einen Theil der Nebelhülle nach einer von der Sonne abwärts gehenden Richtung treiben soll. Newton **) war wohl der Erste, welcher diese Hypothese aufstellte; später haben namentlich Olbers ***) und Brandes ****) dieselbe mehr entwickelt. Bevor die Theile des Kometenstoffes eine solche Entfernung erlangen können, befinden sie sich zu beiden Seiten des Kernes, und werden dann von ihm aus in zwei Strömen ausgestoßen, die sich schließlich hinter dem Kopfe in einen Strom vereinigen und den Schweif bilden. Diese abstoßende Kraft muß an Intensität die Schwerkraft weit übertreffen. Im Allgemeinen behält die Axe des Schweifes eine geradlinige Form, mindestens durch den größten Theil desselben; eine bisweilen allerdings wahrgenommene Krümmung findet nur

*) Expos. du syst. du monde. liv. II. chap. 5. Connoiss. des Tems. 1816. p. 213.

**) Princip. phil. nat. Edit. 3. p. 511.

***) v. Zach, Monat. Corresp. Bd. XXV. S. 1.

****) Astron. Zeitschr. Bd. I. S. 394. Unterhaltungen für Freunde der Phys. und Astron. Bd. I. Hft. 2; vergl. Gehler's Phys. Wörterb. N. Bearb. Bd. V. S. 944.

am äußeren Ende statt, wahrscheinlich weil die schweifbildende Repulsivkraft in dieser großen Entfernung zu schwach wird, um anderen Kräften, in's Besondere dem Widerstande des Aethers nicht einigermaßen nachgeben zu müssen. Das Schwinden des Schweifes, wenn der Komet sich wieder von der Sonne entfernt, ist wahrscheinlich einem mit zunehmender Entfernung von der Sonne allmälig eintretenden Erlöschen dieser Kraft zuzuschreiben.

Bei der theilweise ungeheuren Länge des Kometenschweifes und der oft eintretenden großen Annäherung der Kometen an die Sonne, zumal die Kometenbahnen in allen Richtungen liegen im Gegensatze zu den Bahnen der Planeten, liegt die Frage nahe, ob nicht die Erde von einem Kometenschweife getroffen werden, und eben so die, ob nicht gar ein Zusammenstoß der Erde mit einem Kometen eintreten könnte. Was würde dies für Folgen haben? Es ist wahrscheinlich, daß am 26. Juni 1819 die Erde durch den Schweif des damals erschienenen Kometen gegangen ist; aber eine besondere Wirkung hiervon hat man nicht verspürt. Eben so wenig ist 1823 in einem gleichen Falle eine Wirkung wahrgenommen worden. Nach der Berechnung von La Place ist der Komet vom Jahre 1770 in den Jahren 1767 und 1779 sehr nahe an dem Jupiter und seinen Monden vorbei gegangen, und es ist keine merkliche Störung hierdurch beobachtet worden *).

Hieraus ist man also wohl zu der Behauptung berechtigt, daß eine große Annäherung eines Kometen an die Erde dieser keine Gefahr bringen möchte. Die Astronomen wenigstens würden über ein solches Eintreten eine unverholene Freude empfinden. Wie steht es aber mit einem Zusammenstoße der Erde und eines Kometen? Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist sehr gering. Arago findet,

---

*) Mécan. cél. T. IV. p. 232. — Aus den Beobachtungen des im Jahre 1770 erschienenen Kometen folgt nämlich, daß derselbe eine Umlaufszeit von $5^{1}/_{2}$ Jahren habe. Man hat aber diesen Kometen weder vor noch bisher nach 1770 beobachtet, und man muß daher annehmen, daß entweder das Dasein dieses Weltkörpers überhaupt nur von kurzer Dauer gewesen sei, oder daß derselbe vor und nach 1770 in seiner Bahn Störungen erlitten haben müsse. Daß dies Letztere der Fall sei, hat La Place nachzuweisen gesucht. Der Komet erhielt seine Bahn von $5^{1}/_{2}$ Jahren durch die Anziehung des Jupiter, dem er 1767 sehr nahe kam, war 1770 und 1776 in der Nähe der Erde, wurde aber in dem letztern Jahre nicht bemerkt, weil er, nur bei Tage am Himmel stehend, von der Sonne überstrahlt wurde. Im Jahre 1779 begegnete der Komet aufs neue dem Jupiter und wurde nun in seiner Bahn so von ihm verändert, daß Jahrhunderte bis zu seiner Rückkehr vergehen werden. In den genannten Jahren ging dieser Komet zwischen dem Jupiter und seinen Monden hindurch, ohne auch nur irgend eine Veränderung in Lauf und Stellung des Planeten und der Monde desselben zur Folge zu haben. Dieses hätte aber sowohl beim Jupiter der Fall sein müssen, als auch im Jahre 1770 bei der Erde, wenn seine Masse nicht sehr gering wäre, weil sich die Anziehung nach der Größe der Masse richtet. Er war damals 316664 Meilen von der Erde entfernt und hätte nach La Place, wenn er aus einer Masse gleich der der Erde bestände, eine Veränderung der Jahreslänge von 4 Stunden 10 Minuten hervorbringen müssen. Nicht allein aber dieser Komet, sondern alle seit 3000 Jahren in die Nähe der Erde gekommenen Kometen haben zusammen keine Veränderung von 2 Sec. in der Jahreslänge hervorzubringen vermocht. Denn La Place hat nachgewiesen, daß nicht um 2 Sec. das gegenwärtige Erdjahr von dem vor 3000 Jahren abweiche. Ueberhaupt ist bei keiner der lange voraus berechneten Stellungen der Himmelskörper auf Störungen durch Kometen Rücksicht genommen, obschon fast jedes Jahr ein Komet in die Nähe eines Planeten kommt, und da nun dennoch jene Stellungen sehr genau zu der voraus bestimmten Zeit eintreffen, so können derartige Störungen auch nicht stattfinden, d. h. die Kometen müssen sämmtlich eine so geringe Masse haben, daß sie nicht eine merkliche Anziehung gegen die Planeten ausüben.

daß für einen einzelnen Kometen, im Durchschnitt genommen, das Gegentheil 250 Millionen Mal wahrscheinlicher ist, so daß bei einer Annahme von 8 Kometen auf jedes Jahr, ein Zusammenstoß nur ein Mal in je 31 Millionen Jahren zu erwarten wäre. Olbers *) weist nach, daß von 439 Millionen Kometen, welche der Sonne näher kommen als die Erde, nur einer nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung mit der Erde zusammenstoßen könnte, was bei zwei solchen Kometen auf jedes Jahr gerechnet in 220 Millionen Jahren einen Zusammenstoß ergeben würde. In Bezug auf eine Berührung der Erde durch die Kometenatmosphäre, diese im Mittel zu 6 Erdhalbmessern angenommen, kommt Olbers zu dem Resultate einer Berührung in 8 bis 9 Millionen Jahren. Am nächsten kam der Erde bis jetzt der Komet von 1770, nämlich 311940 Meilen. Nach Olbers schneiden die Kometen von 1684, 1742, 1779 und 1805 die Ebene der Ekliptik an Punkten, die von der Erdbahn selbst nicht weit entfernt liegen, d. h. in einer Entfernung von 185600 bis 298300 Meilen. Von dem Kometen des J. 1680 und dem Biela'schen gilt ein Gleiches. Nun ist es aber eben nicht sehr wahrscheinlich, daß die Erde gerade an dieser Stelle der geringsten Entfernung sich auf ihrer Bahn befinden werde **).

Wir wenden uns jetzt zu der Betrachtung der Kometenbahnen, wobei wir die periodischen Kometen kennen lernen werden, und hierbei wird sich Gelegenheit bieten noch mancher Einzelheiten Erwähnung zu thun, die im Vorstehenden nicht gut eine Stelle finden konnten.

Die — wie bereits oben angegeben ist — sehr unregelmäßig erscheinende Bewegung der Kometen unter den Fixsternen erschwerte in früheren Jahrhunderten die Erkenntniß des wahren Laufs dieser Himmelskörper. Tycho de Brahe beobachtete zuerst mit großer Sorgfalt den Lauf eines Kometen, nämlich den des 1577 erschienenen, und kam zu der Ansicht, daß derselbe einen Kreis beschreibe, eine Ansicht, die ihn leicht zu wichtigen Folgerungen führen konnte, wenn er nicht die Kometen für vergängliche Körper gehalten hätte ***). Kepler ****) glaubte die Bahn des Kometen von 1618 auf eine zwischen Sonne und Erde hindurchgehende gerade Linie zurückführen zu können, und betrachtete die Kometen überhaupt als neu entstehende Erzeugungen im Himmelsraume. Hevel *****) bezeichnete die Bahn der Kometen als eine gegen die Sonne gekrümmte Parabel, ohne jedoch die Sonne als in dem Brennpunkte stehend zu bezeichnen, und dieser ist mit Borelli †) und Dörfel, Prediger zu Plauen im Voigtlande ††),

---

*) v. Zach's monatl. Corresp. Bd. XX. S. 397. Schumacher's Astron. Nachr. Nr. 128.

**) Vergl. Mädler in: Die Kometen von Hind, deutsche Bearb. Leipzig 1854. S. 204 ff.

***) De mundi aetherii recentioribus phaenomenis. Uranienb. 1587, 4. Lib. II.

****) Libelli tres de Cometis astron., phys., astrolog. Aug. Vindelic. 1619.

*****) Cometographia. Gedani 1668. p. 659. 666. 680.

†) Vergl. v. Zach in: Astronomische Zeitschrift. Bd. III. S. 348.

††) Astronomische Betrachtung des großen Kometen, welcher im ausgehenden 1680 und im angehenden 1681. Jahre höchst wunderlich und entsetzlich erschienen, dessen zu Plauen angestellte Observationen nebst etlichen sonderbaren Fragen, sonderlich von Verbesserung der hevelischen theoria cometarum. Plauen 1681; vergl. auch Kästner in: Schriften der Leipziger Gesellschaft freier Künste. Bd. III.

wohl der Erste, welcher die Kometen als Weltkörper erkannt hat. Dörfel sagt ausdrücklich, daß der von ihm beobachtete Komet eine Parabel beschrieben habe, in deren Brennpunkte die Sonne stehe. Seine Berechnungen haben nur den Mangel, daß er das System Tycho de Brahe's als richtig voraussetzt. Borelli drückt sich dahin aus, daß der 1664 erschienene Komet, wenn er sich in einer Parabel bewegte, die Erscheinungen zeigen konnte, welche er wirklich darbot. Da Dörfel Borelli's Ausspruch nicht gekannt hat, so ist er jedenfalls derjenige, welcher sich zuerst am bestimmtesten ausgedrückt hat, wenn gleich er sagt: „seine Erfindung erscheine noch unreif."

Durch die von Newton entdeckten Gesetze der allgemeinen Anziehung ist Dörfel's Behauptung, daß die Kometen von der Sonne angezogen und in ihren Bahnen erhalten werden, außer Zweifel gesetzt *). Auch für die Kometen gilt — wie für die Planeten, — daß die Attractionskraft (s. Art. Anziehung Bd. I. S. 241) in größeren Entfernungen abnimmt, und zwar dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportional. Hieraus folgt, daß die Bahn jedes von der Sonne abhängigen bewegten Weltkörpers einer der drei Kegelschnitte: Ellipse, Parabel oder Hyperbel sei, und zwar, da von diesen nur die Ellipse eine in sich zurücklaufende Linie ist, jeder in die Nähe der Sonne (welche allemal im Brennpunkte steht) zurückkehrende Weltkörper eine Ellipse beschreibe.

Die Parabel ist eine krumme Linie, wie sie beistehende Figur darstellt. S ist der Brennpunkt (focus), ASB die Axe, AC und AD sind die Arme der Parabel. Errichtet man in beliebigen Punkten der Axe, z. B. in E und G Perpendikel und verlängert dieselben bis zu dem Parabelarme, so findet stets die Proportion statt:



$$EF : GD = AE^2 : AG^2$$

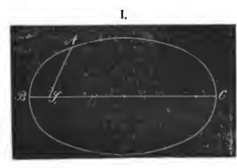
d. h., da AE und AG ꝛc. Abscissen und EF, GD ꝛc. Ordinaten genannt werden, die Ordinaten verhalten sich wie die Quadrate der Abscissen. Da hieraus folgt, daß die Arme AC und AD, wie weit man sie auch fortführen mag, sich von der Axe AB und von einander immer weiter entfernen, so würde, wäre die Bahn eines Kometen eine wirkliche Parabel, derselbe nur Einmal in aller Zeit in die Nähe der Sonne bei S kommen und dann ins Unendliche fortlaufen, ohne jemals wiederzukehren. Dies ist aber nicht der Fall; denn genauere Beobachtungen und Berechnungen haben gezeigt, daß die Kometen wenigstens zum Theil wiederkehren, wenn auch mitunter erst nach einer längeren Reihe von Jahren. Ihre Bahnen sind folglich nicht Parabeln, sondern — wie die Planetenbahnen — Ellipsen, wie umstehende Fig. I. zeigt; aber diese Ellipsen sind so lang gedehnt, und die Kometen erscheinen uns immer nur in der Nähe des einen Brennpunktes ihrer elliptischen Bahn, daß sie so angesehen werden können, als ob sie den kleinen uns sichtbaren Theil ihrer Bahn in einer Parabel durchliefen, und daß wir

*) Newton, princip. lib. III. prop. 41.

folglich der Berechnung der wahren Bahn der Kometen wenigstens nahe kommen, wenn wir diese Bahn als eine Parabel betrachten, in deren Brennpunkte die Sonne steht.

Stellen wir uns vor, daß in der beistehenden Fig. II. bei A die Sonne sich befinde, und daß man einen Kometen auf dem Theile seiner Bahn D D′ zu beobachten vermöge, während derselbe auf seiner Bahn über D und D′ hinaus wegen zu großer Entfernung nicht mehr sichtbar wäre, so ist klar, daß derselbe — wenn er eine Bahn um die Sonne beschreibt — in einer der vielen Ellipsen sich bewegen müsse, welche so gezogen werden können, daß ihr einer Brennpunkt in A und (von hier an) ihr nächster Punkt in B fällt. Welche von diesen Ellipsen die Bahn des Kometen wirklich sei, würde man sogleich entscheiden können, wenn man nicht nur die Größe der Sonnennähe A B des Kometen, sondern auch dessen Sonnenweite (größte Entfernung von der Sonne), also A B′ oder A B″ rc. kennte. Da aber der Komet über D und D′ hinaus von der Erde aus nicht mehr sichtbar ist, so können wir ihn zur Zeit seiner größten Entfernung nicht beobachten. Die verschiedenen Ellipsen durch B um den Brennpunkt A unterscheiden sich zwar auch schon durch ihre Krümmung bis D, aber — wenn nicht die Bahn sehr klein ist — wegen der verhältnißmäßigen Kürze des Stückes B D gegen den ganzen Umfang der Bahn um so wenig, daß wir diesen Unterschied nicht zu bemerken vermögen. Je länger die große Axe der Ellipse B B′ der Bahn des Kometen ist, desto weniger weicht das Stück B D ab von dem entsprechenden Stücke der Parabel, deren Brennpunkt A und deren Scheitel (nächster Punkt an A) B ist.

I.



II.

Da nun die großen Axen aller Kometenbahnen sehr groß sind, so pflegen die Astronomen das beobachtete Stück der Kometenbahn D D′ als Theil einer Parabel zu betrachten und suchen folgende fünf Elemente (Bestimmungsstücke) der parabolischen Kometenbahn auf:

1) Die Neigung der Bahn oder den Flächenwinkel zwischen der Ebene, in welcher sich der Komet bewegt, und der Ebene der Erdbahn (Ekliptik).

2) Die Länge des aufsteigenden Knotens der Kometenbahn auf der Ekliptik, d. h. die Angabe des Punktes der Ekliptik, in welchem dem Sonnenbewohner der Komet von der Südseite der Ekliptik zur Nordseite überzugehen scheint (s. Art. Knoten).

3) Die Distanz des Periheliums, oder den Abstand des Kometen von dem Centrum der Sonne, wenn er im Perihelio, d. h. in der Sonnennähe ist, ausgedrückt in Theilen der halben großen Axe der Erdbahn, die hier als Einheit angenommen wird.

4) Die Länge des Periheliums, oder die Richtung der Hauptaxe der Parabel, oder die Angabe des Punktes der Ekliptik, in welchem dem Sonnenbewohner der Komet erscheint, wenn er in seiner Sonnennähe ist, wobei man am gewöhnlichsten vom Frühlingsnachtgleichepunkte bis zum Knoten der Kometenbahn in der Ekliptik rechnet und von da an auf der Bahn selbst, so daß die Differenz zwischen der Knotenlänge und der Länge des Periheliums ein Bogen der wahren Anomalie ist (s. Art. Anomalie Bd. I. S. 230).

5) Die Zeit des Durchgangs durch die Sonnennähe, d. h. die Zeit, zu welcher sich der Komet im Scheitelpunkte der Parabel befindet, wobei die deutschen Astronomen gewöhnlich den Meridian der Berliner Sternwarte zu Grunde legen, während die brittischen vom Greenwicher und die französischen vom Pariser Meridiane an rechnen.

Außerdem muß angegeben werden, ob der Komet rechtläufig oder rückläufig sich bewegt, d. h. nach der Folge der Zeichen des Thierkreises oder in entgegengesetzter Richtung.

Aus diesen Elementen findet man die Länge der großen und der kleinen Axe der elliptischen Bahn des Kometen noch nicht, kann daher auch nicht die Länge seiner Bahn und die Zeit berechnen, welche der Komet braucht, um dieselbe zurück zu legen. Erst die weiter von der Sonne entfernten Punkte der Bahn weichen mehr und mehr von der Lage in einer Parabel ab, und man muß einen solchen Punkt kennen, um die Bahn des Kometen als eine Ellipse genauer bestimmen zu können. Man muß nämlich noch die Excentricität (den Abstand des Mittelpunktes der Ellipse von einem der Brennpunkte) finden, aus welcher mit Beziehung der Distanz des Periheliums die halbe große Axe und aus dieser dann die Umlaufszeit bestimmt wird. Die Größe der Excentricität giebt man gewöhnlich an durch die in Decimalbruchtheilen ausgedrückte Verhältnißzahl derselben zu der halben großen Axe, oder durch den Winkel, den eine von dem Brennpunkte nach dem Endpunkte der kleinen Axe gezogene gerade Linie mit dieser letzteren macht, dessen Sinus dann die Excentricität ist. Aus der Größe dieses Winkels beurtheilt man die Abweichung der Ellipse vom Kreise.

Die Bestimmung der elliptischen Bahn eines Kometen ist von ganz besonderem Interesse. Bei dem 1815 von Olbers entdeckten, berechneten und nach ihm benannten Kometen reichten die Beobachtungen zur Feststellung der Bahn aus. Das Mittel, welches sich zur Bestimmung der elliptischen Bahn darbietet, ist folgendes.

Wenn von zwei zu verschiedenen Zeiten erschienenen Kometen die Elemente, durch welche der sichtbare Theil ihrer Bahn bestimmt wird, nahe dieselben sind, so kann man mit großer Wahrscheinlichkeit folgern, daß beide Male der nämliche

Komet erschienen ist. Der Unterschied der Zeiten, es sei denn, daß sich dazwischen ein Komet mit denselben Elementen gezeigt hätte, ist dann die Umlaufszeit. Wenn nun gar in drei oder noch mehreren durch gleiche Zwischenräume getrennten Zeiten sich Kometen mit übereinstimmenden Elementen zeigen; so wird diese Wahrscheinlichkeit noch bedeutend vermehrt, ja zur Gewißheit gesteigert. Aus der so gefundenen Umlaufszeit ergiebt sich nun nach dem zweiten Kepler'schen Gesetze: die Quadrate der Umlaufszeiten zweier um die Sonne sich bewegender Körper verhalten sich wie die Cuben ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne, die mittlere Entfernung des Kometen, und dies reicht dann aus, um mit Hülfe der bekannten Distanz des Periheliums die Ellipse zu bestimmen.

Halley's Komet. Nachdem eben Newton die Gesetze, nach welchen die Himmelskörper sich bewegen, genauer bestimmt hatte, erschien der rückläufige Komet vom Jahre 1682. Edmund Halley, Professor der Astronomie zu Greenwich (geb. 1656, gest. 1742), sammelte alle genaueren astronomischen Kometenbeobachtungen und berechnete nach denselben die Elemente von 24 Kometen. Er fand, daß 3 unter diesen, nämlich die von den Jahren 1531, 1607 und 1682 in ihren Elementen ziemlich genau übereinstimmten, und da nun diese Zeiträume ungefähr 74 Jahre jeder von dem nächsten abstanden; so wurde er zu der Vermuthung geführt, daß es derselbe Komet sei, der nach einer Umlaufszeit von ungefähr 74 Jahren in den genannten Jahren erschienen sei. In dieser Vermuthung wurde Halley noch durch den Umstand bestärkt, daß auch in den Jahren 1456, 1380, 1305, 1229 und 1154 Kometen gesehen worden waren; und so sprach er denn die Erwartung aus, daß derselbe — aus seinen Elementen kenntliche — im Jahre 1758 oder 1759 wieder erscheinen werde, was auch in der That 1759 eintraf, obgleich Halley die Störungen, welche der Komet durch die Planeten während seines Umlaufs erlitt, nicht berücksichtigt hatte *). Clairaut **) brachte später — er reichte seine Resultate 1758 der französischen Akademie ein — diese Störungen in Rechnung. Der Komet wurde am 25. December 1758 vom Landmanne Palitzsch im Dorfe Prohlis bei Dresden zuerst wieder erblickt, erreichte am 12. März 1759 seine Sonnennähe und hatte dieselben Elemente, wie der von 1682, aber eine sehr veränderte Gestalt. Eben so veränderlich hatte sich seine Gestalt schon früher gezeigt, woraus — wie schon oben bemerkt worden ist — hervorgeht, daß die Kometen während ihrer Umlaufszeit sehr bedeutenden Veränderungen unterworfen sein müssen.

Clairaut war durch seine Rechnungen zu dem Resultate gelangt, daß der Komet bei seiner Wiederkehr 1759 durch die Einwirkung des Jupiter um 518 Tage und durch die des Saturn um 100 verzögert worden sei, so daß er das Perihelium am 13. April 1759 erreichen werde, wobei er jedoch noch eine anderweitige Verzögerung im Betrage eines Monats für wahrscheinlich hielt. Das wirkliche Eintreten in das Perihelium am 12. März 1759 war also überraschend genau. Bei der darauf folgenden Wiederkehr wurden die Correctionen mit noch größerer

*) Halley, Tabula astronomica de motu cometarum ecliptico. Lond. 1710; vergl. auch Halley, Astronomiae Cometicae Synopsis. Oxford 1705.

**) Théorie du mouvement des Comètes avec l'application de cette théorie à la comète qui a été observée 1531, 1607, 1682, 1759. Paris 1760.

Sorgfalt berechnet, der seitdem (1781) entdeckte Uranus mit in Rechnung gezogen, und Professor Rosenberger in Halle nahm sogar auf den Einfluß der kleineren Planeten: Mars, Erde, Venus und Mercur und auf die Wirkung des widerstehenden Mittels (Aethers) auf die Bewegung des Kometen Rücksicht. Rosenberger kam dem wahren Eintreten in das Perihelium, den 16. November 1835, am nächsten.

Die Dimensionen der Bahn des Halley'schen Kometen sind nach den Beobachtungen von 1835 bis 1836 folgende:

	In mittleren Erdabständen	In geographischen Meilen
Kleinste oder Periheldistanz	0,5866	12132000
Größte oder Apheldistanz	35,3660	731450000
Große Axe der Bahn	35,9526	743582000
Kleine Axe der Bahn	9,0072	188358000

Ueber das Nähere der letzten Erscheinung des Halley'schen Kometen verweisen wir auf Struve's Monographie: „Beobachtungen des Halley'schen Kometen bei seinem Erscheinen im Jahre 1835. Petersburg 1839", Bessel's Mémoire in der Connaissance des temps für 1839, deutsch in: astronomischen Nachrichten 1836 und in Schumacher's astron. Jahrbuch.

Nachdem die elliptische Bahn eines Kometen und somit seine Wiederkehr thatsächlich festgestellt war, unternahmen die Astronomen bei jedem Kometen die Untersuchung, sobald sich nur irgend Aussicht auf ein günstiges Ergebniß erwarten ließ. Diese Bemühungen sind nicht unbelohnt geblieben, so daß wir jetzt die Umlaufszeit mehrerer Kometen kennen.

Außer dem Halley'schen Kometen haben noch folgende fünf rechtläufige eine Umlaufszeit von ungefähr 75 Jahren um die Sonne:

Komet	Apheldistanz	Periheldistanz	Kleine Axe	Umlaufszeit
1) Pons 1812	33,414	0,777	10,192	70,68 Jahr
2) Olbers 1815.	34,055	1,213	12,854	74,05 „
3) de Vico 1846. IV.	34,351	0,664	9,550	73,25 „
4) Brorsen 1847. III.	35,071	0,488	8,273	74,97 „
5) Westphal 1852. III.	—	1,251	—	etwa 69 „

Nr. 1 wurde im Juli 1812 von Pons in Marseille, Nr. 2 von Olbers in Bremen am 6. März 1815, Nr. 3 von de Vico in Rom am 20. Februar 1846, Nr. 4 von Brorsen in Kiel im Juli 1847, Nr. 5 von Westphal 1852 in Göttingen entdeckt.

Außer diesen Kometen, deren Sonnenferne über die Bahn des Neptun noch hinaus reicht und die man deshalb wohl auch äußere Kometen nennt, kennt man noch mehrere, deren Sonnenferne kleiner als der Abstand eines Punktes in der Bahn des Neptun ist und die deshalb innere genannt werden. Wir geben die Elemente dieser 6 inneren Kometen, welche alle rechtläufig sind, nach A. v. Humboldt *).

*) Kosmos. Bd. III. S. 571.

	Encke	de Vico	Brorsen	d'Arrest	Biela	Faye
Durchgangszeit durch das Perihel in mittl. Pariser Zeit	1848 Nov. 26 2^h 55′ 56″	1844 Sptb. 2 11^h 33′ 57″	1846 Febr. 25 9^h 8′ 1″	1851 Juli 8 16^h 57′ 23″	1846 Febr. 10 23^h 51′ 36″	1843 Oct. 17 3^h 42′ 16″
Länge des Perihels . . .	157° 47′ 8″	342° 30′ 55″	116° 28′ 15″	322° 59′ 46″	109° 2′ 20″	49° 34′ 19″
Länge des aufst. Knotens . .	334 22 12	63 49 17	102 40 58	148 27 20	245 54 39	209 29 19
Neigung gegen die Ekliptik .	13 8 36	2 54 50	30 55 53	13 56 12	12 34 53	11 22 31
Halbe große Axe	2,214814	3,102800	3,146494	3,461846	3,524522	3,811790
Perihel-Distanz	0,337032	1,186401	0,650103	1,173976	0,856448	1,692579
Aphel-Distanz	4,092595	5,019198	5,642884	5,749717	6,192596	5,931001
Excentricität	0,847828	0,617635	0,793388	0,660881	0,757003	0,555962
Umlaufszeit in Tagen . . .	1204	1996	2039	2353	2417	2718
Umlaufszeit in Jahren . .	3,30	5,47	5,58	6,44	6,62	7,44
Berechnet von	Encke, Astronomische Nachrichten. Bd. XXVII. S. 113.	Brünnow, gekrönte Preisschrift, Amsterdam 1849.	Brünnow, Astronomische Nachrichten. Bd. XXIX. S. 377.	d'Arrest, Astronomische Nachrichten. Bd. XXXIII. S. 125.	Plantamour, Astronomische Nachrichten. Bd. XXV. S. 117.	Le Verrier, Astronomische Nachrichten. Bd. XXIII. S. 196.

Zwar hat man noch 5 andere Kometen von kurzer Umlaufszeit berechnet: 1) von 1743, 5,436 Jahr; 2) von 1766, entdeckt von Messier, 5,025 J.; 3) von 1783, entdeckt von Pigott, 5,613 J.; 4) von 1819, von Pons entdeckt, 5,618 J.; 5) von 1819, entdeckt von Blanpain, 4,75 J.; es scheinen dieselben indessen verloren zu sein, da ihre Wiederkehr nicht beobachtet worden ist.

Endlich hat die Berechnung für mehrere Kometen eine noch größere Umlaufsperiode ergeben, als die Kometen der ersteren Gruppe besitzen.

1) Für den Kometen von 1680 fand Encke als kürzeste Periode 805 Jahre, am wahrscheinlichsten sind aber 8843 Jahre.
2) Komet von 1683 mit einer Umlaufszeit von 190 Jahren nach Clausen's Berechnung.
3) Komet von 1763 mit einer Periode von 7334 Jahren nach Burckhardt, aber von 1137 Jahren nach Lexell.
4) Komet von 1769 nach Bessel mit einer Periode von 2090 Jahren, vielleicht aber auch von 1692 oder 2673 Jahren.
5) Komet von 1807 nach Bessel mit einer Umlaufszeit von 1714 Jahren.
6) Komet 1 von 1811 nach Argelander mit einer Periode von 3065 Jahren.
7) Komet 2 von 1811, von Pons entdeckt, nach Nicolai von 875 Jahren Umlaufszeit.
8) Komet 4 von 1822, von Pons entdeckt, nach Encke von 5444 Jahren Umlaufszeit.
9) Großer Komet von 1825 nach Hansen von vielleicht 4386 Jahren Umlaufszeit.
10) Komet 4 von 1840, von Bremiker entdeckt, nach Götze von 344 J. Umlaufszeit mit einer Unsicherheit von etwa 10 Jahren.
11) Komet von 1844, von Mauvais am 7. Juli entdeckt, nach Plantamour von 102050 Jahren Umlaufszeit mit einer Unsicherheit von 3090 Jahren.
12) Komet von 1845, von Colla entdeckt, nach d'Arrest identisch mit dem 1596 von Tycho de Brahe beobachteten und demnach mit einer Umlaufszeit von 249 Jahren.
13) Komet von 1846, III de Vico's, nach Jelinek von 2720 Jahren Umlaufszeit mit einer Unsicherheit von 400 bis 500 Jahren.
14) Komet von 1846, II Brorsen's, nach Wichmann von 401 Jahren und nach Oudemann von 500 Jahren Umlaufszeit.

Durch fortgesetzte Beobachtung und Berechnung der erscheinenden Kometen wird sich die Zahl der periodischen Kometen immer mehr vergrößern.

Auffallend erscheint die Lücke zwischen den periodischen Kometen von 6jähriger und 75jähriger Umlaufszeit. Es hat dies bereits zu der naheliegenden Vermuthung Veranlassung gegeben, daß jede dieser Gruppen einen gemeinschaftlichen Ursprung habe, nämlich, daß in irgend einer entfernten Epoche ein großer Komet sich in mehrere Theile gespalten habe, ähnlich wie die Asteroiden von einem einzigen zersprungenen Planeten abgeleitet werden. Indessen die Elemente zeigen mit Ausnahme der Umlaufszeit durchaus keine Aehnlichkeit und namentlich nicht, wie es in einem solchen Falle nothwendig sein müßte, einen gemeinschaftlichen

Kreuzungspunkt im Raume. Ueberdies wird es durch die Periode von 16 Jahren, welche der am 26. Juni 1846 von Peters entdeckte Komet (der sechste dieses Jahres) haben soll, wahrscheinlich, daß sich mit der Zeit die Lücke ausfüllen wird. In den Jahren 1858 bis 1860 wird sich dies entscheiden.

An dieser Stelle erwähnen wir eines Phänomens, welches bei den Astronomen das größte Erstaunen erregt hat, da man die bloße Möglichkeit desselben vorher kaum ahnte. Der oben unter den inneren Kometen aufgeführte Biela'sche erschien nämlich Ende 1845 und Anfangs 1846 in zwei Kometen getheilt. Am 19. December 1845 bemerkte Hind bereits in dem ungetheilten Kometen eine Anschwellung gegen Norden; am 29. December scheint man in Nordamerika die Theilung zuerst wahrgenommen zu haben, und in Europa wurde dieselbe im Januar 1846 ebenfalls erkannt. Die beiden Kometen gingen von einander gesondert weiter, der kleinere nördlich voran. Plantamour berechnete für jeden Kometen insbesondere die dem Perihel von 1846 entsprechenden Elemente und fand:

Durchgang durch das Perihel 1846	Haupt-Komet	Begleiter
Februar 11. . . .	0h 6′ 51″	Febr. 11. 1h 42′ 40″ Mittl. Genfer Zeit
Länge des Perihels	109° 2′ 20″,1	109° 2′ 39″,6
Länge des aufsteigenden Knotens	245. 54. 38,8	245. 56. 1,7
Neigung	12. 34. 53,3	12. 34. 14,3
Halbe große Axe .	3,52453	3,50846
Kleinster Abstand	0,856448	0,856439
Excentricität . .	0,757001	0,755900
Umlaufszeit . . .	2416,74 Tage	2400,33 Tage.

Die Wiederkehr dieser beiden Kometen erfolgte 1852. Secchi fand den einen am 25. August, den anderen am 15. September. Der Abstand beider Kometen war bedeutend geworden, und es scheint demnach, als ob aus dem einen Kometen für immer deren zwei geworden seien.

Von nicht minderem Interesse ist ein Resultat, zu welchem der Encke'sche Komet geführt hat. Dieser Komet legt seine Bahn in ungefähr $3^1/_4$ Jahren zurück und wurde am 26. November 1818 von Pons in Marseille entdeckt. Encke berechnete seine Bahn und sagte voraus, daß derselbe im Jahre 1822 zurückkehren, dann aber nur für die südliche Erdhalbkugel bemerkbar sein werde. Dort entdeckte ihn auch der Astronom Rümcker auf Neuholland am 2. Juni und beobachtete ihn bis zum 23. desselben Monats. Der Komet ist seitdem auch 1825, 1828, 1832, 1835, 1838, 1842, 1845, 1848, 1852 wieder beobachtet worden und eben so ist sein Erscheinen im Jahre 1786, 1795, 1805 nachgewiesen. Encke machte die Erfahrung, daß der Komet stets etwas früher, nämlich $2^1/_2$ Stunde, den Punkt des geringsten Abstandes von der Sonne erreichte, als es der Rechnung nach hätte sein sollen. Dieser Effect zeigte sich unabhängig von der Einwirkung der Planeten, und nun nahm Encke an, daß ein dünnes ätherisches Medium die planetarischen Räume erfülle, das aber gleichwohl noch hinreichend dicht sei, um auf einen Körper von so geringer Dichtheit, wie der Komet, einen Einfluß auszuüben, obwohl unfähig, auf die Bewegungen der compacteren

Planetenmassen einen irgend merklichen Effect zu äußern. Diese Annahme ist durch die Ergebnisse der neueren Beobachtungen und Berechnungen fast in Gewißheit verwandelt *).

Wenn der Komet auf seinem Umlaufe einen Widerstand erfährt, so wird dadurch natürlich die anziehende Kraft der Sonne vermehrt, und der Komet wird in Folge hiervon in eine verengerte Bahn gezogen, d. h. die große Axe wird immer kleiner. Nothwendig muß dann nach dem Kepler'schen Gesetze die Umlaufszeit verkleinert werden. Was wird nun die Folge hiervon sein? Wird der Komet schließlich in die Sonne stürzen? — Es ist möglich, daß der Einfluß der Planeten auf den Lauf dieses Kometen, wie wir einen solchen, ausgeübt von dem Jupiter insbesondere, mehrfach in diesem Artikel kennen gelernt haben, eine solche Katastrophe überhaupt verhindert. Es ist denkbar, daß der Komet endlich in einen Planeten übergeht; denn da sich die Bahn immer mehr der Kreisform nähert, so wird sie den fast kreisförmigen Ellipsen der Planetenbahnen ähnlich, und der Encke'sche Komet würde endlich in einer mittleren Entfernung wie die kleinen Planeten zwischen Mars und Jupiter seinen Lauf um die Sonne nehmen. Für letztere Möglichkeit scheint auch noch zu sprechen, daß man an diesem Kometen niemals einen Schweif bemerkt hat, sondern daß derselbe stets nur als ein unansehnlicher, nur schwer mit bloßen Augen zu entdeckender, von einer Dunsthülle umgebener Stern erschienen ist. Der Kern desselben befand sich aber nicht genau in der Mitte der Dunsthülle, sondern der größere Theil derselben befand sich auf der von der Sonne abgekehrten Seite.

Neben der durch den Encke'schen Kometen festgestellten Existenz des Aethers, dessen Widerstand — wie oben angegeben ist — auch bei der so zutreffenden Berechnung des Halley'schen Kometen von Rosenberger in Rechnung genommen wurde, ist noch eines für die Astronomen wichtigen zweiten Resultates Erwähnung zu thun, zu welchem derselbe Komet ebenfalls geführt hat. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß Laplace die Masse des Merkur in der Mécanique céleste zu groß angesetzt hat, und daß diese im Verhältnisse 7 : 12 vermindert werden muß.

Aus den Beobachtungen von 1852 ergeben sich folgende Elemente des Encke'schen Kometen:

Aphel-Distanz	= 4,0927	= 84667000 Meilen
Perihel-Distanz	= 0,3370	= 6969950 "
Halbe große Axe	= 2,21485	= 45818475 "
Halbe kleine Axe	= 1,17445	= 24290600 "
Umlaufszeit	= 3,296 Jahr	= 1203,8 Tage.

Von den zahlreichen Schriften über Kometen mögen hier zwei eine Stelle finden:

Olbers über die leichteste Methode die Bahn eines Kometen zu berechnen. 1. Aufl. Weimar 1797; 2. Aufl. besorgt von Encke. Mit einer bis 1846 fortgeführten Kometentafel von Galle, einer neuen Berechnung der Barker'schen Tafel von Luther und anderen Zusätzen. Berlin 1847.

The Comets. A descriptive treatise upon those bodies. By J. R. Hind. London 1852. In deutscher Bearbeitung mit zahlreichen Anmerkungen und Zusätzen

*) Vergl. auch Art. Aether. Bd. I. S. 121.

von Mädler: Die Kometen. Eine gemeinfaßliche Beschreibung dieser Körper nebst einer kurzen Uebersicht der neueren Entdeckungen und einer Tafel der Kometenbahnen. Leipzig 1854. Enthält auch eine vollständige Literatur der Kometenkunde. H. E.

Korkkugelelektrometer, s. Elektrometer.

Kraft, s. Bewegung und Materie.

Kraftmesser, Dynamometer (v. d. griech. δύναμις, Kraft und μέτρον, Maaß) ist eine Vorrichtung, durch welche die absolute Größe von Kräften oder deren Wirkung gemessen wird. Eine Zusammenstellung der Hauptarten von Dynamometern giebt der Art. Dynamometer (Bd. II. S. 572), in welchem auch bereits auf mehrere Artikel Bezug genommen ist, in denen einzelne Arten ihre specielle Erledigung finden. Der Vollständigkeit wegen, falls in diesem Artikel ein Nachweis über die Manometer gesucht werden sollte, verweisen wir noch deshalb auf Art. Dampfmaschine Bd. II. S. 343 ff. Im vorliegenden Artikel beschränken wir uns auf die im Art. Dynamometer unter I. 1) angeführten Feder-Dynamometer zum Messen der Zug- und Druckkräfte belebter und unbelebter Motoren, werden aber auch die unter I. 3) angeführten Dynamometer zur Bestimmung der absoluten Festigkeit der Körper kurz berühren, da im Art. Festigkeit dieselben keine Stelle gefunden haben.

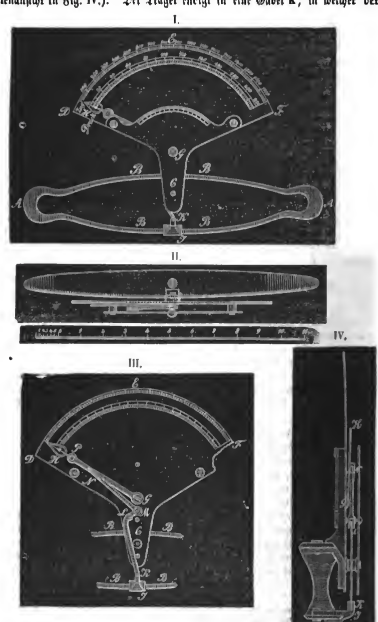
1. Feder-Dynamometer oder Federwagen zum Messen von Zug- und Druckkräften.

Das erste zweckmäßige und auch jetzt noch — mit theilweisen Veränderungen — gebräuchliche Dynamometer zum Messen zirhender Kräfte ist von Regnier *) angegeben. Es gründet sich auf die Elasticität des Stahls und wird namentlich angewendet, wenn es sich um die Frage handelt, wie groß die Kraft sei, welche die Zugthiere bei dem Gebrauche eines neuen Ackergeräthes, Wagens ꝛc. aufwenden müssen, kann aber eben so zur Ermittelung jeder anderen Zugkraft, z. B. der Zugkraft in den Armen eines Menschen gebraucht werden. Die Einrichtung ist folgende:

ABBA in den umstehenden Fig. I. und III. ist eine ellipsenartig gekrümmte Stahlfeder, gewöhnlich mit Leder überzogen, und aus gut gehärtetem Stahle verfertigt. Man versichert sich zuvor durch Anwendung einer Kraft (Gewichte), welche stärker ist, als alle, welche an dem Instrumente geschätzt werden sollen, von ihrer Güte, und auch sonst prüft man die Feder öfter, um sich zu überzeugen, ob sie an Elasticität etwa verloren hat. An dem einen Arme der Feder bei C ist eine Messingplatte CDEF befestigt, welche mit zwei eingetheilten Kreisbogen, einer nach Myriagrammen, der andere nach Kilogrammen, versehen ist. In der Mitte dieser Scheibe, in G, ist ein Zeiger GH mit zwei Spitzen für die beiden Eintheilungen, welcher durch seinen Stand die beim Zusammendrücken oder Ausdehnen des Ringes aufgewendete Kraft angiebt. An dem anderen Arme der Feder ist bei J ein Träger

*) Journ. des mines. No. 132. 1807; Journ. de l'Ecole Polytech. T. II. p. 160. G. T. II. p. 91; Phil. Mag. T. I. p. 399.

von Stahl befestigt auf dieselbe Weise durch Schrauben, wie der bei C (siehe die Seitenansicht in Fig. IV.). Der Träger endigt in eine Gabel K, in welcher der



kupferne Zurückstoßer KL sich frei bewegen kann, der mit dem anderen Ende L auf gleiche Weise mit einem Winkelhebel LMN in Verbindung steht, der sich um M dreht und bei N mit einem Stifte versehen ist, durch welchen er bei seiner Bewegung den Zeiger GH fortschiebt. An dem Zeiger ist bei P auf der unteren Seite ein kleines Polster von Tuch oder Leder angebracht, damit er beim Aufhören des Druckes, durch welchen er vorwärts geschoben wird, auf der Messingplatte CDEF durch Reibung festgehalten wird und nicht zurückgeht. — Fig. II. giebt den Grundriß des Apparates.

Die erste Eintheilung nach Myriagrammen dient zu allen Versuchen, welche die elliptische Feder nöthigen, sich nach ihrer großen Axe zu verlängern, wie bei der Prüfung der Stärke eines Zugthieres, in welchem Falle man das eine Ende der Feder A mittelst eines Hakens oder Ringes an dem Gegenstande befestigt, auf welchen der Zug ausgeübt werden soll, während man an dem anderen Ende A auf gleiche Weise die Wage anbringt, an welche das Thier gespannt wird; die zweite Eintheilung nach Kilogrammen ist für die Versuche (z. B. zur Prüfung der Muskelkraft der Hand) bestimmt, bei welchen man die beiden Arme der Federn bei B zusammendrückt. Drückt man die Feder zusammen oder zieht man sie im längeren Durchmesser aus einander, so nähern sich jedesmal die beiden Arme. Dabei bewegt der Zurückstoßer KL den Hebel LMN vorwärts und dieser treibt den Zeiger, der dann an dem Orte stehen bleibt, bis zu welchem er getrieben wurde. Nach jedem Versuche muß der Zeiger zurückgedreht werden.

Die Eintheilung der Scheibe wird durch Versuche mit Gewichten bestimmt.

Wie sich aus dieser Darstellung ergiebt, wird durch einen solchen Apparat nur die größte Kraft angezeigt, welche bei seinem Gebrauche aufgewendet wurde. Wollte man die mittlere Kraft bestimmen, so müßte der Winkelhebel seinen Drehpunkt im Mittelpunkte der Eintheilung haben, so daß der Hebelarm MN unmittelbar den Zeiger abgäbe. In diesem Falle würde der Zeiger je nach Verhältniß der aufgewendeten Kraft vor- und rückwärts schwanken und nach seinen Schwingungen wäre dann der mittlere Stand desselben zu beurtheilen.

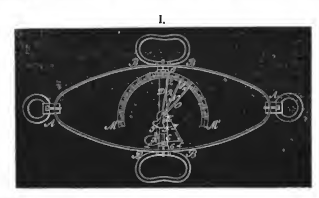
Das verbesserte Regnier'sche Dynamometer stellt umstehende Fig. I. dar*), und Fig. II. giebt einen Querdurchschnitt durch die Mitte. ABBA ist wieder die elliptische Stahlfeder, zwischen A und B am schwächsten, etwa 1 Linie, und bei A am stärksten, etwa $1^1/_2$ Linie dick. Bei A und B sind besondere Handhaben angebracht, deren Befestigung an der Feder aus der Zeichnung II. ersichtlich ist; nur bemerken wir, daß die Handhaben bei B fest sind, während die bei A aus beweglichen Ringen bestehen. An dem Backen C der Handhaben bei B auf der inneren Seite der Feder ist auf der einen Seite eine Schiene D, auf der anderen eine ähnliche Schiene E befestigt. Die Schiene E hat einen Spalt und die Schiene D bei F eine Schraube, welche, wenn die beiden Schienen sich auf einander verschieben, in die Spalte eingreift und so eine Abweichung von der geraden Richtung verhindert. Auf der Schiene D steht eine kleine senkrechte Axe G (Fig. II.), und auf dieser befindet sich lose eine messingene Rolle H (Fig. I.), welche an ihrem Umfange ein paar Schraubenwindungen zur Aufnahme einer seidenen Schnur JJ besitzt. Diese seidene Schnur ist bei K an E befestigt, dann zweimal um die Rolle H ge-

*) Prechtl's techn. Encyklopädie. Taf. 73.

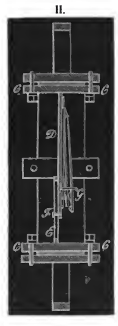
schlungen und mit dem anderen Ende an einer, ebenfalls bei K befestigten, dünnen Stahlfeder L L angemacht. Auf der Schiene D ist ein Gradbogen M M', dessen Mittelpunkt die Axe G ist, um welche sich ebenfalls der auf der Rolle H befestigte Zeiger N dreht.

Zieht man die Feder an den Handhaben B B aus einander, so entfernt sich

I.



II.



der Punkt K von der Schiene D, das Schnurende von der Rolle H nach K hin wird länger und die Rolle H muß sich umdrehen und zwar so, daß der Zeiger N nach M hin sich bewegt; hört die Kraft auf zu wirken, so zieht die Feder L die Schnur in der Richtung des Pfeiles (Fig. I.) wieder zurück und giebt dem Zeiger seine ursprüngliche Stellung wieder. Zieht man die Feder an den Handhaben A A aus einander, so nähert sich K der Schiene D, das Schnurende zwischen K und der Rolle H wird schlaffer und die Feder L zieht das andere Ende der Schnur an, so daß wiederum die Rolle H und mit ihr der Zeiger N in Bewegung kommt, nur in einer der vorigen entgegengesetzten Richtung, nämlich nach M' hin; hört die Kraft auf zu wirken, so geht der Zeiger wieder auf seine frühere Stellung zurück, da die Handhaben B B sich wieder von einander entfernen, während sie bei dem Zuge in A A sich einander genähert hatten.

Auf dem Gradbogen steht da, wo der Zeiger seine Stellung hat, wenn keine Kraft auf das Dynamometer einwirkt, Null. Die Eintheilung von hier aus nach M und M' hin wird durch Versuche mit Gewichten hergestellt und ist keineswegs symmetrisch. Um die Feder in der Richtung der Handhaben A A auszuziehen, gehört nämlich mehr Kraft dazu, als dasselbe in der Richtung der Handhaben B B zu bewerkstelligen. Daher kommt es, daß auf dem kleineren Theile des Gradbogens nach

II.

M' hin die Zahlen weiter reichen, als auf dem größeren nach M zu; außerdem sind die gleichen Kräftezuwächsen entsprechenden Theile des Gradbogens um so kleiner, je weiter sie von dem Nullpunkte abstehen, da die Formveränderung der Feder bei anfangender Wirkung der ziehenden Kräfte bedeutender ist, als bei schon gesteigerter.

Da der Zeiger N jedesmal auf Null zurückspringt, wenn die Kraft zu wirken aufhört, so sind noch zwei Hülfszeiger O und R angebracht, welche auf der Axe G lose aufstecken, O unmittelbar über dem Zeiger N und R über O. Fig. II. zeigt nur den einen Hülfszeiger O, während Fig. III. den Zeiger R für sich darstellt. Hier ist a die Oeffnung für die Axe G und b stellt eine kleine Feder vor, welche auf dem Zeiger O ruht. Ganz ebenso ist der Zeiger O eingerichtet, der mit der kleinen Feder auf N aufliegt. Diese kleinen Federn halten die Hülfszeiger da fest, wo sie hingeschoben werden. Ihre Verschiebung geschieht aber durch den Zeiger N mittelst des Stiftes S auf demselben, und da auf jeder Seite von N ein Hülfszeiger sich befindet, so wirkt derselbe, sei es, daß er nach M oder M' hin sich bewegt, jedesmal auf einen derselben. Damit die Zeiger R und O genau den Stand des Zeigers N angeben, haben sie bei X und Z Ausschnitte zur Aufnahme des Stiftes S am Zeiger N, und die dem Zeiger N zugewendeten Kanten sind bis zur Spitze so geführt, daß diese genau über der Spitze des Zeigers N ihre Stelle erhält.

Wie das ursprüngliche Regnier'sche Dynamometer ist auch dieses ein Maximum-Dynamometer. Ein wesentlicher Vorzug besteht in den Handhaben. Daß nach längerem Gebrauche, namentlich wenn starke Kräfte an dem Instrumente geprüft worden sind, eine Revision der Scala stattfinden muß, versteht sich von selbst, da die Elasticität der Stahlfeder nicht ungeändert geblieben sein könnte.

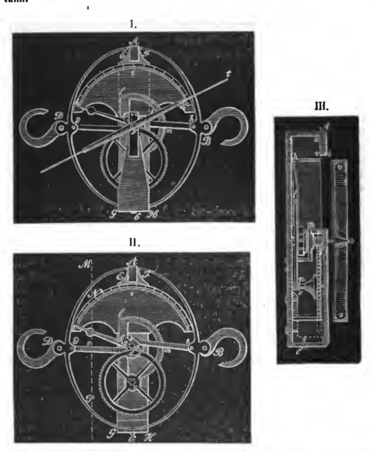
Die eben beschriebenen Dynamometer haben bei Bestimmung der mittleren Kraft den Nachtheil, daß es schwer hält bei den schnellen Schwankungen des Zeigers den mittleren Stand desselben anzugeben. Zur Abhülfe hiervon dient folgende Einrichtung *).

Umstehende Fig. I. giebt die vordere Ansicht, Fig. II. den Durchschnitt nach der Fläche, Fig. III. den Querschnitt nach der Linie MNOP (Fig. II.). Das Instrument besteht aus einer elliptischen, hinlänglich starken Stahlfeder ABCD, wovon die längere Axe AC gewöhnlich 8 bis 10 und die kürzere BD 6 bis 8 Zoll mißt. An den Punkten B und D sind die Haken für die Zugkraft befestigt. An der inneren Seite des Ringes befinden sich die Zugstangen bf und de, welche mit der Axe g durch die Hebel fg und eg verbunden sind. Auf dieser Axe ist der Zeiger gh aufgesteckt. Wird nun der Ring bei B und D aus einander gezogen, so wird durch die Zugstangen bf und de mittelst der Hebel fg und ge der Zeiger gedreht, und hierdurch die angewandte Kraft an der Scala angezeigt.

Um die zu große Beweglichkeit des Zeigers zu verhindern, ist die Axe g mit dem am Umfange gezähnten Segmente lmn verbunden, welches in das Getriebe no eingreift, hierdurch das Rad pq und weiter das Getriebe qr und die Windflügel st sehr schnell umdreht. Der Widerstand, welchen die letzteren bei ihrer

*) Handbuch der Mechanik von v. Gerstner. 2. Aufl. Prag 1833. Bd. I. S. 216.

Bewegung in der Luft finden, verursacht, daß die vor- und rückgehende Bewegung des Zeigers g h auf einen geringeren Spielraum beschränkt wird, woraus nun der mittlere Stand des Zeigers mit größerer Sicherheit beurtheilt werden kann.



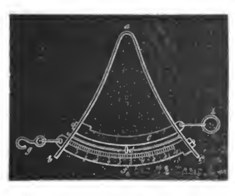
Der Bogen h i k der Scala ist auf der Platte E F G H befestigt, in welcher zugleich die Axen der gesammten Getriebe und Räder sich bewegen. Diese Platte ist an dem Ende G H an dem stählernen Ringe bei C festgemacht; weil aber der Ring bei dem Gebrauche sich zusammenzieht, so ist das Ende E F der Platte E F G H nur mit einem über den Ring herabgehenden Stifte A i (Fig. III.) in der Art verbunden, daß für das Zusammenziehen des Ringes der Spielraum u v frei bleibt.

Ein sehr brauchbares Dynamometer, welches aus zwei gleich starken geraden Stahlfedern von $^1/_4$ bis $^1/_2$ Meter Länge zusammengesetzt ist, hat Morin

benutzt *). Die Federn sind an ihren Enden in einander eingelenkt und an der Mitte der einen zieht die Kraft, während die Mitte der andern befestigt wird.

Es versteht sich von selbst, daß die eben beschriebenen Kraftmesser je nach den zu messenden Kräften in größeren oder kleineren Dimensionen angefertigt werden müssen; indessen kann man auch ein schwächeres Instrument für sehr bedeutende Kräfte noch gebrauchen, wenn man nur die Kraft nicht unmittelbar, sondern durch einen Flaschenzug auf das Instrument einwirken läßt, durch welchen die Wirkung der Kraft je nach der Einrichtung des Flaschenzugs gemindert wird. Allerdings wird man dann auf keine große Genauigkeit im Resultate Anspruch machen können, was jedoch, falls es nur auf eine relative Bestimmung ankommt, nicht wesentlich in Betracht kommt.

Handelt es sich um die Messung sehr kleiner Kräfte, so wendet man zweckmäßig ein Instrument mit einer mehr biegsamen Feder an. Solcher Instrumente sind mehrere construirt worden. Regnier giebt folgenden Apparat an. Es ist (siehe nebenstehende Figur) b a c ein winkelförmig gebogener Stahlstreifen, an dessen einem Schenkel a b der Bogen e befestigt ist, während das andere Ende, welches mit einem Ringe h versehen ist, durch einen Schlitz im anderen Schenkel a c frei hindurch geht. Eben so ist die Scala f an dem Schenkel a c befestigt und geht durch einen Schlitz des Schenkels a b. Der Haken g an der Scala wird irgend wo befestigt und an dem Ringe h wirkt die Kraft; hierdurch wird die Feder zusammengedrückt und dadurch ein — auf einem an dem Schenkel a c zwischen den Bogen e und f befestigten, durch a b frei hindurchgehenden, bogenförmigen vergoldeten Messingdrahte befindliches — kleines geöltes Lederscheibchen d vorwärts geschoben. Dieses Scheibchen, welches beim Auseinandergehen der Schenkel stehen bleibt, dient als Zeiger für die Scala f, welche durch Versuche bis zu 10 Pfund getheilt ist.



Da bei übermäßiger Anstrengung der Feder diese dem Zerbrechen ausgesetzt ist, so hat Frese z derselben eine schraubenförmige Gestalt gegeben. Ist in dieser Form die Zusammendrückung bis zur Berührung der Windungen fortgeschritten, so kann natürlich keine weitere Zusammendrückung erfolgen, wenn auch die Kraft noch verstärkt wird. Von den umstehenden Figuren giebt Fig. I. die vordere und Fig. II. die seitliche Ansicht. In einem messingenen, an beiden Seiten offenen Gehäuse b b befindet sich die Feder a. Das untere Ende derselben stützt sich gegen den Boden des Gehäuses, auf dem oberen Ende ruht die Scheibe e, die sich an

*) Description des appareils chronometriques à style et des appareils dynamometriques. Metz 1838.

der Spindel f h befindet. An dem bei f angebrachten Haken g zieht die zu prüfende Kraft, während der andere Haken n am Gehäuse b b zur Befestigung des Instrumentes dient. Die Spindel f h geht durch ein Loch der horizontalen Scheidewand c des Gehäuses und endigt oben in einem kleinen Haken, an welchem eine feine seidene Schnur oder ein dünner Messingdraht angemacht ist, der an der Rolle i, um welche er einmal herumgeschlagen wird, befestigt ist. Wird nun an g gezogen, so dreht sich die Rolle i und mit ihr der an ihrer Axe angebrachte Zeiger k, welcher alsdann an der Scala die Größe der aufgewendeten Kraft angiebt. Damit nun beim Nachlassen der Kraft in g der Zeiger von selbst wieder zurückgeht, ist noch die spiralförmige Feder o angebracht, welche an einer über die Rolle l gehenden Schnur die Axe wieder in entgegengesetzter Richtung dreht. Da hierdurch und

I.



II.



durch die Elasticität der Feder a eine Schwankung des Zeigers bedingt ist, so wird zwischen c und e noch eine kleine schraubenförmige Feder d angebracht, welche den Schwingungen der Feder a entgegenwirkt und erstens den Zeiger bald zur Ruhe bringt, zweitens aber auch beim plötzlichen Nachlassen der in g ziehenden Kraft das plötzliche Zurückschlagen der Feder a verhindert.

2. Kraftmesser für drehende Kräfte.

Es ist unmöglich hier alle Vorschläge zu erwähnen, welche zur Messung der lebendigen Kraft bei drehender Bewegung gemacht worden sind. Wir werden daher nur einige Brems-Dynamometer genauer beschreiben, und führen blos an, daß Regnier eine dynamometrische Kurbel vorschlug, welche sich bei der Umdrehung erst biegt, bis ihre Elasticität dem Widerstande gleich kommt. Die Biegung wird beim Eintritt der Bewegung an einem Gradbogen gemessen, welcher durch vorausgegangene Versuche eingetheilt ist. Hachette schlug dafür eine steife Kurbel vor, ließ diese aber auf eine an der Welle befestigte ringförmige Feder wirken, während die Kurbel selbst lose auf dem runden Zapfen aufgesteckt wird. Es liegt auf der Hand, daß man die Combinationen leicht vervielfältigen kann, indem man z. B. Räder anbringt, welche auf Federn wirken, oder Gewichte benutzt, welche von der bewegenden Kraft schwebend erhalten werden. Eben so sei nur beiläufig bemerkt, daß man auch aus dem Drucke, welchen die Wellzapfen auszuhalten haben, auf die Größe der Kraft bei drehender Bewegung schließen kann.

Prony's Brems-Dynamometer oder Prony's Zaum beruht

darauf, die lebendige Kraft einer sich drehenden Welle durch Reibung zu compensiren und das Moment dieser Reibung zu bestimmen *). Der wesentlichste Theil besteht in zwei halbkreisförmig ausgeschnittenen Sätteln c d und e f, welche bei einer eisernen Welle ganz von Holz, bei einer hölzernen zwar auch von Holz, aber in der Höhlung mit Eisenblech belegt sind. Es passen diese Sättel an einen genau cylindrisch abgedrehten Theil der zu untersuchenden Welle. Der obere Sattel e f befindet sich an dem Balken a b, der untere c d ruht auf einem aus mehreren auf einander gelegten Schienen gebildeten Balken h und wird durch die Schraubenbolzen k l und m n gehalten. Durch Anziehen der Schrauben können beide Sättel gegen die sich drehende Welle stark angedrückt werden. Bei b ist an dem Balken eine Wagschale mit Gewichten p. Soll nun die Kraft der Welle bei einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit oder Umdrehungszahl ermittelt werden, so zieht man die Schrauben k l und m n so stark an und legt so viel Gewichte auf die Wagschale, daß erstens die Welle die erforderliche Geschwindigkeit erhält, aber zweitens auch der Balken a b ohne alle weitere Unterstützung, als durch die Reibung in den Sätteln, horizontal liegt. Offenbar wird dann die ganze Arbeit der Welle von der Reibung zwischen den Sätteln und der Welle aufgezehrt, wenn die Welle sich in der in der Figur angegebenen Richtung dreht.



Weil wegen der sich nicht immer gleich bleibenden Kraft der Balken in Schwankungen geräth, so sucht man diese durch unter die Balkenenden gesetzte Böcke R und S auf einen kleinen Spielraum zu beschränken; auch bedient man sich, wenn es die Räumlichkeit bedingt, wohl nur eines Bockes S und befestigt neben diesem ein um den Balken gehendes Tau, welches dem Balken nur ein geringes Aufwärtsschnellen gestattet.

Da die in der Umdrehungsrichtung wirkende Reibung das Gleichgewicht bedingt, so kommt es nur darauf an, diese Reibung aus dem auf der Welle liegenden Gewichte zu bestimmen. Macht die Welle in einer Minute N Umdrehungen, so ist die Winkelgeschwindigkeit derselben $= 2 r \pi . \frac{N}{60} = \frac{N . r \pi}{30}$, wenn r der Radius der Welle ist. Bezeichnen wir nun die Entfernung des Punktes q, welcher vertical über dem Mittelpunkte der Welle liegt, von dem Aufhängungspunkte der Wagschale mit L, und ist das in der Wagschale liegende Gewicht = p, während eine Kraft p′ in dem Aufhängungspunkte der Wagschale erforderlich sein mag, um den bei q auf einer Schneide unterstützten, nicht mit Gewichten beschwerten Balken horizontal zu erhalten; so ist das bei q wirksame Moment L (q + p′), und folglich ist die mechanische Arbeit der Welle.

$$= \frac{N . r . \pi}{30} . \frac{L (p + p')}{r} = \frac{L . N . \pi}{30} . (p + p').$$

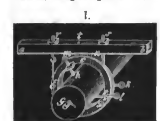
Ein Uebelstand ist bei dem Prony'schen Apparate, daß für jede andere Welle auch andere Sättel gearbeitet werden müssen. Dies hat Egen durch eine

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XIX. p. 165.

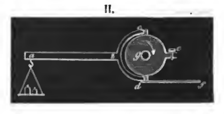
Vorrichtung verbessert, welche für Wellen von sehr verschiedenem Durchmesser brauchbar ist, überdies unter der Welle keinen großen Raum beansprucht, an dem es oft gebricht.

An der Welle G Fig. I. wird ein gußeiserner Bremsring C D E durch drei Schraubenpaare, wie k und l, die an dem Ringe in gleichen Abständen angebracht sind, festgeschraubt. Es paßt dieser Ring auf sehr verschiedene Wellen, wenn sie überhaupt nur in denselben hinein gehen. Der Ring ist auf seiner Außenseite rinnenförmig ausgearbeitet, und an denselben legt sich oben der Sattel m n. Den

I.



II.



unteren Sattel vertritt ein eisernes Band, welches in dem rinnenförmigen Rande liegt und durch die Schrauben bei r und s an dem Balken a b in erforderlicher Weise angezogen werden kann. Bei t ist eine durch den Balken a b und den Sattel m n gehende Oeffnung, durch welche Oel oder Wasser auf den Ring gebracht werden kann, um die zu große Erhitzung in Folge der Reibung zu verhindern. Es ist zweckmäßig die Oeffnung t oben am Balken so groß zu machen, daß in derselben ein Trichter angebracht werden kann. Durch einen Stöpsel verschließt man das Trichterrohr und kann so durch Herausziehen desselben sofort Oel auf den Ring fließen lassen, wenn der Trichter schon im Voraus gefüllt war.

Noch einfacher ist das Brems-Dynamometer von Armstrong, welches nur aus einem eisernen Ringe besteht, welcher durch eine Schraube e so angezogen wird, daß er an der Welle g stark anschließt. Mit dem Ringe ist der Balken a b durch die beiden Gabelarme b c und b d in Verbindung, welche in zwei an dem Ringe angebrachte Nasen eingreifen. Um den Balken besser regieren zu können, bringt man übrigens an dem unteren Gabelarme noch eine Verlängerung d f an *).

3. Dynamometer zur Bestimmung der absoluten Festigkeit.

Um die absolute Festigkeit stärkerer Körper, z. B. von Eisenstangen, Holzbalken, Metalldrähten, Seilen ꝛc. zu bestimmen, bedarf man keines besonderen Apparates, sondern man bringt den zu untersuchenden Körper einfach in eine verticale Lage, befestigt ihn am oberen Ende auf irgend eine Weise und belastet ihn am unteren Ende mit Gewichten. Auf diese Weise sind die im Art. Festigkeit angeführten Resultate im Allgemeinen gewonnen. Bei Körpern von geringen Dimensionen und geringerer Festigkeit könnte man zwar auf gleiche Weise ver-

*) Wegen der Literatur der Dynamometer vergl. Allgemeine Maschinenencyklopädie. Artikel Bremsdynamometer. Wir verweisen überdies noch auf Dingler's polytechnisches Journal. Bd. LXXXVIII. und XCII.

fahren, auch würden sich die oben angeführten kleinen Dynamometer von Regnier und Frefez brauchbar erweisen; indessen hat man doch noch für bestimmte Stoffe, z. B. zur Bestimmung der Stärke der Schafwolle, der Garnfäden und dergleichen besondere Apparate construirt und von diesen sollen in dem Folgenden einige noch kurz beschrieben werden.

Das Mitostenometer von Catlinetti in Mailand ist ein Dynamometer mit schraubenförmiger Feder zur Prüfung der Festigkeit von Garnfäden. An einer kleinen, drehbaren und mit einem Sperr-Rade versehenen Welle wird der zu prüfende Faden mit seinem unteren Ende befestigt, mit dem oberen aber an einem Haken, welcher mit der Feder in Verbindung steht. Wird die Welle gedreht, so spannt sich der Faden und hierdurch wird die Feder zusammengedrückt, bis der Faden zerreißt. Ein Zeiger, welcher durch die Feder vorwärts geschoben wird, bleibt dann auf der Stelle stehen, bei welcher das Zerreißen eintrat.

Zur Prüfung der Schafwolle hat Regnier ein Instrument angegeben, welches aus einem etwa $3^1/_2$ Zoll breiten und $5^1/_2$ Zoll langen, schwarz angestrichenen Brettchen besteht, an welchem sich zwei parallele, aus Messingdraht verfertigte, einarmige Hebel befinden, von denen der eine am vorderen Ende in eine Zeigerspitze ausläuft, am hinteren aber mittelst einer geraden dünnen Blechfeder bewegt werden kann, während das hintere Ende des anderen sich um einen dünnen Zapfen dreht. In das Brettchen ist ein in 50 Grade getheilter Bogen eingelassen, längs dessen sich beide Hebel bewegen. An den freien Enden sind die Hebel mit kleinen Schraubenzangen zum Einspannen eines Wollhaares versehen. Die Hebelenden sind etwa 3 Zoll weit von einander und so lang ist also auch der eingespannte Faden. Zieht man nun den um den Zapfen drehbaren Hebel an, so wird der Faden, da der andere Hebel wegen der an ihm angebrachten Feder nicht ungehindert folgen kann, gespannt, bis endlich der Faden zerreißt. In diesem Augenblicke merkt man sich die Stelle des Zeigers an der Scala und erhält hierdurch wenigstens einen relativen Anhalt über die Stärke der geprüften Haare.

Die Unsicherheit, welche hier dadurch bedingt wird, daß der Faden nicht immer genau von derselben Länge und derselben Spannung ist, hat Fr. Voigtländer in einem besonderen Instrumente umgangen, indem er den Faden mit dem einen Ende einklemmt, an dem anderen Ende ihn durch ein Zängelchen beschwert, wodurch eine bestimmte Spannung erhalten wird, und dann den so gespannten Faden an einer Welle festklemmt, so daß zwischen den beiden Einklemmungen stets eine bestimmte Fadenlänge enthalten ist (von etwa $^1/_2$ Zoll). Die Welle wird hierauf gedreht, bis der Faden zerreißt und aus der Eintheilung an dem Schraubenkopfe, welcher an der Welle angebracht ist und die Größe der Drehung angiebt, erkennt man die relative Stärke der absoluten Festigkeit der geprüften Fäden. Ein feiner, einfacher Flachsfaden zerriß bei einer Drehung von 2 Graden, ein einfacher Seidenfaden zeigte 8 bis 10, Schafwolle 12 bis 25, ein Menschenhaar 19 bis 25 Grad *). H. E.

Krahn, Kranich, s. Räderwerk.

Kranz, s. Hof.

---

*) Zeichnungen des Instruments in der wirklichen Größe finden sich im Aufrisse, Seiten-Aufrisse und Grundrisse in Prechtl's Technologischer Encyklopädie. Bd. IV. Art. Dynamometer. Taf. 70. Fig. 22—24.

Krater, s. Vulkan.

Kreuzhaspel, s. Rad an der Welle.

Kryophor, s. Verdunstung.

Krystall (v. d. griech. κρύος, Eis; κρύσταλλος, alles durchsichtig Erstarrte) heißen die von ebenen Flächen regelmäßig begrenzten und auch in ihrem inneren Gefüge Regelmäßigkeit zeigenden, natürlich vorkommenden Mineralkörper.

Während im Thier- und Pflanzenreiche einzelne Individuen vorkommen, welche je nach der Gattung, zu welcher sie gehören, eigenthümliche Gestalt und innere Regelmäßigkeit des Baues besitzen, scheint auf den ersten Anblick das ganze Gebiet der Mineralien ohne solche bestimmte, die einzelnen Arten in Individuen charakterisirende Gestaltungen. Genauere Nachsuchungen und Beobachtungen haben indessen gelehrt, daß den Mineralien, welche nicht schon bei ihrer Entstehung in freier Ausbildung gehemmt, oder nachher durch Verwitterung oder mechanische Zerstörung umgestaltet wurden, ebenfalls bestimmte, die Art (Gattung, Geschlecht) ausdrückende und einzelne Individuen bildende Gestalten natürlich sind. Höchst lehrreich sind in dieser Beziehung namentlich die Erfahrungen der Chemie. Hier wird durch die Kunst den anorganischen Stoffen eine Freiheit der Bildung verschafft, welche sie in der Natur nicht haben, und so können wir denn gleichsam vor unseren Augen die meisten — einfachen sowohl, als zusammengesetzten — Stoffe, wenn sie zu festen Körpern erstarren, als Individuen sich bilden sehen, welche eine ihre bestimmte Art charakterisirende Bildung haben.

Die Individuen der Mineralwelt unterscheiden sich aber von den Individuen der beiden organischen Reiche wesentlich dadurch, daß, während die Umgrenzungen dieser nur durch krumme, rundliche Flächen gebildet werden, bei den Krystallen allgemein E b e n e n, und da sich die Ebenen, um einen einzelnen Körper zu umgrenzen, schneiden müssen, g e r a d e L i n i e n und E c k e n die Begrenzungen bilden. Auch das Innere der organischen Individuen ist mit dem herrschenden Charakter der Rundung aller einzelnen Theile construirt, während das Innere der Mineralindividuen eben so wie das Aeußere derselben eine nach Ebenen gehende Construction hat. Es giebt unzählige Arten der gerundeten Flächen, während es nur Eine Art der Ebenen giebt, und so ist es nothwendig, daß die Krystalle eine bei weitem größere Einfachheit und Regelmäßigkeit zeigen, als die organischen Individuen. Daher kommt es, daß, während bei jedem einzelnen Individuum der Thier- und Pflanzenwelt jedes Organ wiederum den Charakter der Individualität trägt, d. h. besonders gestaltet ist, an die Stelle dieser Mannichfaltigkeit bei den Krystallen eine gleichförmige und einförmige Gestaltung tritt. So müssen wir ein organisches Individuum als das Ganze seiner einzelnen verschieden gestalteten Theile ansehen, ein anorganisches Individuum (Krystall) dagegen als ein Ganzes unzähliger Theile, welche dieselbe Gestaltung besitzen, wie das Ganze. Hiermit hängt zusammen, daß die Masse, aus welcher die einzelnen Organe der organischen Individuen bestehen, selbst verschieden erscheint, während dagegen in den Krystallen eine durchgehende Gleichartigkeit der Masse herrscht. Aus allem diesem folgt, daß die Krystalle zu den Naturerscheinungen gehören, in denen sich die Herrschaft eines strengen Gesetzes auf das Entschiedenste geltend macht. Es ist hier wie mit den Naturkräften, welche in ihrem unablässigen Walten die Weltkörper eines Sonnensystems im Gleichgewichte und ungestörten Kreislaufe erhalten; in gleicher Weise formen sie hier die Materie im kleinsten Raum symmetrisch zu den

regelmäßigsten Gebilden, die von scharfen Kanten und spiegelglatten Flächen begrenzt sind.

Der Anblick der Krystalle drängt unwillkürlich zu der Frage, wie sie entstanden, wie sie gerade in dieser Form aus einer anderen hervorgegangen sein mögen? Ob etwa durch Aneinanderreihung kleinster atomartiger Partikeln von bestimmter Gestalt, oder allmäliges Ablagern des festwerdenden Stoffes nach verschiedenen Richtungen, und wie in diesem Falle die Mannichfaltigkeit der abgeleiteten Krystallformen zu Stande komme? An dieser Stelle müssen wir hierüber auf den Art. Materie verweisen und uns jetzt damit begnügen, die Thatsachen zusammenzustellen, welche Beobachtungen über Krystallbildung ergeben haben. Vorher bemerken wir indessen noch im Allgemeinen, daß Krystallisirbarkeit das den Mineralien zukommende Vermögen bezeichnet, individuelle, gesetzmäßige Gestaltung anzunehmen, und Krystallisirung das Vorsichgehen dieser gesetzmäßigen Gestaltung. Es ist noch nicht entschieden, ob allen unorganischen Stoffen und Körpern Krystallisirbarkeit zukomme, obschon dies der Analogie nach zu vermuthen ist. Die Krystallisirung zu beobachten haben wir meist nur dann Gelegenheit, wenn wir selbst dieselbe veranlassen, nicht in der Natur; doch da auch in dieser Krystalle vorkommen, so ist anzunehmen, daß ihre Bildung unter ähnlichen Bedingungen vor sich gegangen ist, wie da, wo wir selbst die Krystallbildung veranlassen. Dies wird auch durch die wenigen Beobachtungen bestätigt, die wir über die Krystallbildung in der Natur, namentlich des Eises *) haben anstellen können.

A. Krystallbildung (Krystallogenie).

Damit Krystallbildung erfolgen könne, muß die Substanz in tropfbarflüssigem oder ausdehnsamflüssigem Aggregationszustande gegeben sein. Dieses ist der Fall, sowohl wenn der Stoff für sich durch Wärme in einen dieser Zustände versetzt ist, als auch wenn er in Verbindung mit einem anderen Stoffe als tropfbar oder ausdehnsam flüssig erscheint, z. B. aufgelöst in Wasser, Weingeist rc. Beim Uebergange aus dem flüssigen in den festen Zustand, also entweder durch Entziehung der Wärme oder des Stoffes, welcher den flüssigen Zustand bedingte, tritt die Krystallisirung ein. Schwefel, Jod, Kampher, Benzoësäure krystallisiren aus dem Zustande des Geschmolzenseins und des Dampfes, viele Metalle nach dem Zustande des Geschmolzenseins, Salmiak nach dem des Dampfes, sobald eine hinreichende Erkältung eintritt. Hat man den Stoff, z. B. Schwefel, Spießglanz, Wismuth, geschmolzen und läßt ihn dann erstarren, so muß man, um deutliche Krystalle zu erhalten, nur etwa die Hälfte der Masse erstarren lassen, und nachdem sich (weil Erkaltung und Erstarrung von der Oberfläche beginnt) eine Krystallrinde gebildet hat, diese durchstoßen und den noch flüssigen Theil abgießen. Ohne dies würde die geschmolzene Masse nach der Erstarrung ein Ganzes bilden, in welchem sich die einzelnen Krystalle schwer unterscheiden ließen. In (unter Einfluß der Wärme) gebildeten Lösungen verschiedener Stoffe, z. B. der Benzoësäure, des Kamphers rc. in Weingeist, anderer in Wasser, treten bei der Erkaltung der Flüssigkeit die ge-

*) Vergl. Art. Eis. Bd. II. S. 602.

lösten Stoffe als Krystalle heraus, wenn sie bei minderer Temperatur von dem Lösungsmittel nicht mehr gelöst erhalten werden können.

Aehnlich wie im Artikel Eis (Bd. II. S. 600) von diesem erzählt worden, tritt auch bei anderen Substanzen, welche durch Erkaltung aus dem flüssigen Zustande in den festen unter Krystallbildung übergehen, die Erscheinung auf, daß man sie unter gewissen Bedingungen unter denjenigen Temperaturgrad erkalten kann, bei welchem sie gewöhnlich zu erstarren pflegen, oder bei welchem sie durch Temperaturerhöhung aus dem festen Aggregatzustande in den flüssigen übergehen würden. Diese Bedingungen sind vollkommene Ruhe und Verschluß der Gefäße, in welchen die Erkaltung erfolgt. Erschütterung, Oeffnung des Gefäßes, Berührung mit einem krystallinischen oder nur mit irgend einem festen spitzen Körper bewirkt dann aber augenblickliche Krystallbildung. Zugleich erhebt sich dann die Temperatur der Flüssigkeit bis zu dem Grade, bei welchem das Flüssigwerden des festen Körpers erfolgen würde, also bis zu der Schmelztemperatur. Aehnlich wie das Eis verhält sich in dieser Beziehung z. B. höchst concentrirte Essigsäure. In offenen Gefäßen erstarrt diese schon bei + 13° C.; in verschlossenen dagegen kann man sie bis zu 12° C. erkalten, ohne daß ein Festwerden erfolgte. Wird aber jetzt das Gefäß geöffnet und erschüttert, so krystallisirt die Essigsäure sogleich und zwar geschieht diese Krystallbildung von oben nach unten, auch dann, wenn die in das Gefäß eintretende Luft wärmer ist als die Flüssigkeit. Eine Menge Stoffe verhalten sich ähnlich, z. B. Anisöl, namentlich viele Salze, wenn sie in warmem Wasser aufgelöst sind, z. B. schwefelsaures und essigsaures Natron; eine große Anzahl aber erstarrt auch in geschlossenen Gefäßen und bei vollkommener Ruhe alsbald, wenn eine hinreichende Temperaturerniedrigung stattgefunden hat, z. B. Salmiak, Kochsalz u. a.

Im Allgemeinen wird bei Flüssigkeiten, die unter den Temperaturgrad erkaltet werden können, bei welchem in der Regel Krystallbildung eintritt, die letztere herbeigeführt: a) durch Oeffnung des Gefäßes und dadurch veranlaßten Zutritt der äußeren Luft; b) durch Bewegung, besonders wenn die Erkaltung in einem offenen Gefäße geschah, wiewohl auch in verschlossenen Gefäßen Krystallbildung durch Schütteln des Gefäßes veranlaßt werden kann, z. B. bei einer Lösung des salzsauren Kalkes in warmem Wasser; c) durch Berührung mit einem festen Körper, wobei indessen zu beachten ist, daß diese festen Körper mit der heißen Flüssigkeit nicht zugleich erkalten dürfen, und daß sie naß oder vorher erwärmt in die Flüssigkeit gebracht ebenfalls die Krystallbildung nicht bewirken. Bei diesem merkwürdigen Verhalten verdient auch ein von Lowitz *) beobachteter Fall Erwähnung, nämlich daß aus einer heiß bereiteten Auflösung von Salpeter und Glaubersalz ein Salpeterkrystall nur das Anschießen (Bilden von Krystallen) von Salpeter, ein Glaubersalzkrystall nur das Anschießen von Glaubersalz bewirkt, während aus der sich selbst überlassenen Auflösung beide Salze durch einander krystallisiren.

Jedes Lösungsmittel kann bei einer gewissen Temperatur nur eine bestimmte Quantität eines Stoffes aufnehmen, und heißt, nach Aufnahme dieser Quantität, von dem Stoffe gesättigt (vergl. Art. Auflösung und Lösung). Nach Sättigung mit einem Stoffe kann es jedoch noch einen zweiten, dritten ꝛc. Stoff

*) Crell's Ann. 1790. Bd. I. S. 209.

— von jedem eine bestimmte Quantität — aufnehmen. Mit der Temperatur nimmt im Allgemeinen die Löslichkeit zu, oft nur bis zu einem gewissen Grade. Aus der erkaltenden Flüssigkeit krystallisirt nun nur diejenige Quantität des aufgenommenen Stoffes heraus, welche das Lösungsmittel bei der herabgegangenen Temperatur weniger als bei der vorher höheren zu lösen vermag. Wenn man z. B. kochend heißes Wasser auf zerstoßenen Salpeter gießt, das Gemenge so lange umrührt, als noch Salpeter aufgelöst wird, sodann die Lösung abgießt und bei völliger Ruhe langsam erkalten läßt, so krystallisirt daraus derjenige Antheil des Salpeters, welcher das kochendheiße Wasser mehr als das abgekühlte aufgelöst enthalten kann. Die concentrirte Lösung, aus welcher man Krystalle gewinnen will, bringt man bei Versuchen im Kleinen in Porzellanschalen oder Geschirre aus Steingut, im Großen bedient man sich zwar auch der Geräthschaften aus Steingut, häufiger aber hölzerner Fässer oder Bottiche, welche wegen des in ihnen erfolgenden Wachsens der Krystalle Wachsfässer heißen (z. B. bei der Alaunfabrikation), ferner sind auch kupferne Behälter in Gebrauch, z. B. bei der Bereitung des Kandiszuckers.

Im Gegensatze zu der eben angegebenen Krystallbildung durch Erkältung steht die Krystallbildung durch Erhitzung. Es beruht diese Methode darauf, daß durch Verdampfung eines Theiles des Lösungsmittels die noch vorhandene verringerte Flüssigkeit nicht mehr im Stande ist, den aufgelösten Stoff in seiner ganzen Menge aufgelöst zu erhalten. Auf diese Weise gewinnt man z. B. das krystallisirte Kochsalz aus seiner Auflösung in Wasser, indem man dies durch Wärme in Dampf verwandelt und so forttreibt. Es kommt in diesem Falle besonders darauf an, daß nicht zu wenig, aber auch nicht zu viel von dem Wasser durch das Abdampfen fortgetrieben wird. Ist das Erstere der Fall; so schleßen die Krystalle nur in geringer Menge und langsam an; hat das Andere stattgefunden, so erfolgt das Festwerden zu schnell und die Krystalle können sich nicht gehörig ausbilden, so daß vielmehr eine compacte Masse von nur krystallinischem Gefüge gewonnen wird. Um sich von der richtigen Concentration der Lösung zu überzeugen, bringt man daher einige Tropfen der heißen Lösung auf eine Glastafel oder eine Porzellanschale und sieht zu, ob die Krystallbildung in rechter Weise erfolgt, was man an dem Anschießen kleiner Krystalle bemerkt, während ein schnelles Erstarren der Tropfen ein Zeichen ist, daß bereits zuviel von dem Lösungsmittel verdampft war. In einigen Fällen, z. B. beim Kochen der geklärten Zuckerauflösung, bedient man sich auch des Thermometers, um den richtigen Concentrationspunkt zu ermitteln, da man aus dem Siedepunkte auf den Grad der Dichtigkeit und mithin auch auf die Menge des aufgelösten Stoffes schließen kann. Ist der aufgelöste Stoff nicht hygroskopisch, so erkennt man auch die rechte Concentration an der Bildung eines dünnen Häutchens auf der Oberfläche der Auflösung, welches man Salz- oder Krystallhäutchen nennt.

Es versteht sich von selbst, daß bei einem Auflösungsmittel, welches zu seiner Verflüchtigung keiner hohen Temperatur bedarf, auch schon bei gewöhnlicher Temperatur die nöthige Concentration eintreten kann. Es ist dies der Fall bei mehreren in Weingeist aufgelösten Harzen. Auch kann die Verdunstung dadurch befördert werden, daß man über der Lösung einen luftverdünnten Raum erzeugt. Endlich ist noch zu erwähnen, daß auch dann Krystallisation stattfindet, wenn das Lösungsmittel mit einem anderen Stoffe gemengt wird, der sich mit ihm zu einer Flüssig-

keit verbindet, in welcher der zu krystallisirende Stoff nur wenig oder gar nicht aufgelöst wird. Salpeter und Kupfersalmiak z. B. krystallisiren auf diese Weise aus der wässerigen Lösung, wenn man Weingeist in dieselbe bringt, und Kampher aus der weingeistigen Lösung durch Zusatz von Wasser.

Die Krystalle werden desto größer und desto vollkommener, je langsamer die Zurückführung eines Stoffes aus dem flüssigen in den festen Zustand geschieht. Man muß deshalb bei der Krystallbildung durch Erkältung diese nur allmälig eintreten und bei der Krystallbildung durch Entziehung der Lösungsmittel diese nur nach und nach vor sich gehen lassen. Geschieht die Erkaltung zu schnell, so erhält man, wie bei zu starker Concentration durch Abdampfen (s. oben) in größerer Menge kleine unansehnliche und unvollkommene Krystalle. Die Bildung der Krystalle geschieht — wie aus dem Vorhergehenden nothwendig folgt — zumeist und zuerst an der Oberfläche der Flüssigkeit, weil hier die Entziehung der Wärme und des Lösungsmittels zunächst erfolgt, und an der inneren Oberfläche des Gefäßes, weil durch die Wandungen desselben nächst der Oberfläche der Flüssigkeit früher die Temperaturveränderung eintritt, als in der Mitte der Flüssigkeit und weil die Krystalle hier sich an festen Theilen (des Gefäßes) ansetzen. Auch auf von außen in die Flüssigkeit gebrachte feste Körper legen sich die Krystalle an, z. B. an hölzerne Stäbe, die man entweder in dem Boden oder in den Dauben der Wachsfässer einsteckt, oder an besondern Gestellen von oben in die Flüssigkeit hineinhängt, z. B. bei der Fabrikation des Alauns, des Kupfervitriols, des blausauren Kalis 2c. Auch Zwirnfäden werden in der Lösung ausgespannt, z. B. bei der Gewinnung des Kandiszuckers. Daß hierbei der Grad der Adhäsion von Einfluß ist, sieht man daraus, daß sich z. B. aus ihren wässerigen Auflösungen krystallisirende Salze schwieriger an die Wände gläserner als porzellanener Gefäße ansetzen und gar nicht an mit Fett überzogene Wände.

Aus dem Gesagten wird erklärlich, warum man beim Zuckersieden, wo eine schnelle und körnige Krystallisation der eingekochten Zuckerauflösung bezweckt wird, sobald dieselbe in die Zuckerform hineingegossen ist, sie stark und oft umzurühren pflegt, dagegen, wenn der Zucker in deutlichen Krystallen anschießen soll, wie beim Kandiszucker, die Zuckerauflösung weniger stark einkochen und dann auf sehr warmen Stellen stehen läßt, wo das Wasser allmälig verdunstet und der Zucker aus seiner Auflösung langsam anschießt.

Die Flüssigkeit, aus welcher die Krystalle sich herausbilden, und von der sie daher umgeben scheinen, wenn sie nicht durch Abdampfung völlig entfernt wird, heißt die Mutterlauge, und diese ist folglich diejenige Flüssigkeit, in welcher der nunmehr krystallisirte Stoff aufgelöst war. Sie enthält nach Maßgabe der Temperatur und ihrer Menge noch einen Theil der krystallisirten Substanz aufgelöst, so wie auch noch solche Stoffe, welche minder leicht krystallisirbar und in ihr aufgelöst sind. Ist die Mutterlauge frei von fremden Substanzen, so erhält man aus ihr bei wiederholtem Abdampfen wohl nochmals Krystalle, die indessen nicht so schön, wie die ersten auszufallen pflegen.

Namentlich wenn die Krystallisirung schnell vor sich geht, pflegen von der Mutterlauge kleine Partien in das Innere der Krystalle einzutreten und hier eingeschlossen zu werden. Diese Flüssigkeit ist alsdann blos mechanisch eingemengt. Erhitzt man nachher solche Krystalle und schmelzen dieselben nicht bei einem Temperaturgrade, der niedriger als der Siedepunkt der eingeschlossenen

Flüssigkeit liegt, so verwandelt sich diese im Innern des Krystalles in Dampf und erlangt bald eine so große Spannkraft, daß die Krystalle von ihr zersprengt werden (zerknistern, decrepitiren). Dies Austreiben der eingeschlossenen Flüssigkeit nennt man, da es mit einem Knistern verbunden ist, abknistern und die eingeschlossene Flüssigkeit selbst Zerknisterungswasser. Mit diesem nicht zu verwechseln ist das Krystallwasser: eine Quantität Wasser aus der flüssigen Lösung, welche manche Substanzen beim Krystallisiren chemisch in sich aufnehmen. Dieses Krystallwasser steht bei gleichbleibender Krystallform zu der krystallisirenden Substanz in einem stets gleichbleibenden Verhältnisse, während dies mit dem Zerknisterungswasser durchaus nicht der Fall ist. In den gewöhnlichen Krystallformen enthalten z. B. Glaubersalz 56, Borax 47,1, kohlensaures Natron 62,75 Proc. Krystallwasser; beträgt aber beim Glaubersalze oder kohlensauren Natron die gebundene Wassermenge nur $^{4}/_{5}$ der eben angegebenen, und beim Borax die Hälfte, so treten dieselben in ganz anderer Krystallform auf.

Manche Krystalle, z. B. Alaun, Glaubersalz u. a. enthalten bei gewöhnlicher Temperatur viel Wasser, andere, z. B. schwefelsaures Kali, Kochsalz, Salpeter gar keins. Einige Stoffe krystallisiren theils mit, theils ohne Krystallwasser, und einige können, wie die bereits angeführten Beispiele belegen, verschiedene Antheile von Wasser beim Krystallisiren aufnehmen. Dies Letztere tritt ein, wenn man die Auflösung bei verschiedenen Temperaturen krystallisiren läßt; manche Salze krystallisiren sogar bei höherer Temperatur ohne Krystallwasser, bei niederer aber mit demselben, z. B. das schwefelsaure Natron und das Kochsalz. Jenes krystallisirt bei + 30° C. ohne, bei + 10° mit Krystallwasser; dieses nimmt bei gewöhnlicher Temperatur kein Wasser auf, dagegen bei — 10° einen bedeutenden Theil, den es jedoch, selbst wenn es mit einer Wasserschicht bedeckt ist, bei einer höheren Temperatur, sogar schon bei 0° wieder verliert.

Einige Krystalle verlieren in trockener Luft allmälig ihr Krystallwasser durch allmäliges Verdampfen von der Oberfläche aus, so daß sie endlich gänzlich aus einander fallen; sie werden dann milchweiß und undurchsichtig und bedecken sich mit mehlartigem Staube. Man nennt diese Erscheinung das Verwittern, Fatisciren, wofür wir als Beispiele Glaubersalz, kohlensaures, phosphorsaures Natron anführen. Durch Erhitzung schmelzen solche Krystalle anfangs in ihrem Krystallwasser, trocknen aber dann während der Verdunstung des Wassers ein, blähen sich dabei auf, schäumen und werden endlich zu einer schwammigen trocknen Masse, z. B. Borax, Alaun ꝛc.; dann pflegen sich dieselben aber nur langsam wieder in Wasser aufzulösen, auch schmelzen sie nachher erst bei dem zum Schmelzen des wasserfreien Salzes erforderlichen höheren Hitzegrade. Einige Krystalle, z. B. salzsaurer Kalk, salzsaure Magnesia, salzsaures Eisenoxyd, salzsaures Zinnoxydul zerfließen leicht wegen ihrer großen Verwandtschaft zu dem atmosphärischen Wasserdunste.

Wenn man auf ein verwittertes Salz so viel Wasser gießt, als es Krystallwasser bedarf, so verbindet es sich mit demselben und wird nach einiger Zeit zu einer harten halbdurchsichtigen Masse. Das schwefelsaure Natron z. B. enthält 56 Proc. Krystallwasser; läßt man es verwittern und mengt es dann nach diesem Verhältniß, also nahe 2 Theile Salz mit 3 Th. Wasser, so erhält man nach kurzer Zeit eine feste Masse, wobei sich die Wärme des festwerdenden Wassers langsam entwickelt. Hierauf gründet sich z. B. die Anfertigung der Gypsfiguren und Gyps-

formen. Man erhitzt nämlich den Gyps so, daß er sein Krystallwasser verliert, pulvert ihn dann fein, rührt ihn mit Wasser zu einem Brei und gießt ihn in die Formen, wo er nach einer Weile erkaltet, indem er das Wasser chemisch bindet, und die Masse lauwarm wird.

Bei der Bildung der Krystalle pflegt Wärme entwickelt zu werden und in einigen Fällen, z. B. bei der Sublimation der Benzoësäure, bei der Krystallisation des einfachen und doppelt schwefelsauren Kalis, des flußsauren Natrons, des salpetersauren Strontians, des schwefelsauren Kobalts, des Fluornatriums zeigt sich sogar Licht *). Die Wärmeentwickelung ist eine Folge des Umwandelns des bis dahin flüssigen Körpers in einen festen, wobei die den Flüssigkeitszustand bedingende latente Wärme frei werden muß. Sie tritt besonders auffallend in denjenigen Fällen auf, wo nach einer künstlichen Erkaltung bis unter den Erstarrungspunkt, durch Erschütterung und dergleichen, wie oben bereits angeführt wurde, ein schnelles Eintreten der Krystallisation herbeigeführt wird, wo dann die Temperatur der Flüssigkeit schnell bis zu der des Erstarrungspunktes erhöht wird. Bei der Aufnahme von Krystallwasser verliert auch dieses seinen flüssigen Zustand und läßt daher diejenige Wärme fahren, die es zu Herstellung seines flüssigen Zustandes gebunden hielt.

Ueber die bei der Krystallbildung auftretenden Licht- und Elektricitätserscheinungen ist schon im Art. Elektricität (a. a. O.) die Rede gewesen, wir verweisen indessen noch auf die Art. Licht und Thermoelektricität.

Um die erste Entstehung der Krystalle zu erforschen, hat man mehrfach mikroskopische Untersuchungen angestellt, ohne indessen bedeutende Aufschlüsse gewonnen zu haben. Wir wollen daher nicht bei dem verweilen, was Ehrenberg **), Frankenheim ***) und Tellkampf ****) in dieser Beziehung gefunden haben, sondern uns sogleich zu der fertigen Krystallgestalt wenden.

B. Krystallbeschreibung (Krystallographie).

Die Krystalle einer und derselben Substanz sind, wie in dem Vorhergehenden gesagt wurde, gleichförmig, aber nicht in der Art, daß sie alle vollkommen gleichgestaltet, etwa nur der linearen Ausmessung nach verschieden wären, sondern sie haben mannichfaltige Formen, welche sich jedoch sämmtlich auf dieselbe Eine Grundform zurückführen lassen. Worin näher diese Zurückführung bestehe, kann erst deutlich gemacht werden, nachdem die Grundformen mit ihren Kennzeichen und Unterscheidungsmerkmalen vorgeführt worden. Es giebt mehrere bestimmte (später näher zu charakterisirende) Systeme von Gestalten, und allgemeine Regel ist, daß dieselbe Substanz zwar in mehreren Formen, aber nur in Formen ein und desselben Systems krystallisiren könne.

Es wird nicht überflüssig sein, hier zur Verständigung in der Krystallographie gewisse mathematische Ausdrücke nach ihrer Bedeutung kurz aufzuführen.

Ein Körper ist ein von allen Seiten eingeschlossener (begrenzter) Theil des Raumes und hat daher 3 Dimensionen (Abmessungen): Länge, Breite, Höhe.

---

*) Vergl. Art. Elektricität. Bd. II. S. 755. Pogg. Ann. Bd. LII. S. 443 ff.
**) Pogg Ann. Bd. XXXVI. S. 238.
***) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 516, vergl. auch S. 637.
****) Physikatische Studien. Hannover 1854. S. 35.

Ist der Körper mit Materie angefüllt, so nennt man ihn einen physischen Körper; sieht man von einem solchen Inhalte ab, wie es im vorliegenden Falle geschieht, wo wir es nur mit der Gestalt zu thun haben, so nennt man ihn einen mathematischen Körper.

Die Körper sind umgrenzt:

a) von Einer (krummen) Oberfläche (z. B. die Kugel),

b) von Oberflächen und Linien (z. B. der Cylinder),

c) von Flächen, Linien und Punkten (z. B. der Kegel, der Würfel 2c.).

Die Krystalle gehören nicht zu den unter a und b erwähnten Körpern, sondern machen nur eine besondere Klasse der unter c erwähnten Körper aus, sie sind nämlich:

Körper, die von geraden Flächen (Ebenen), geraden Linien und Punkten begrenzt werden, — geradflächige Körper.

Jede gerade Linie an einem Körper ist die Durchschnittslinie zweier Flächen und heißt eine Kante.

Die Kanten an geradflächigen Körpern schneiden sich in Punkten, welche Eckpunkte genannt werden. Die Ecken selbst werden eingeschlossen von denjenigen Ebenen, die sich in den in den Endpunkten zusammentreffenden geraden Linien schneiden.

Zur Bildung einer Ecke sind wenigstens drei sich gegenseitig schneidende Ebenen erforderlich. Nach der Zahl der Ebenen oder der Kanten, welche eine Ecke bilden, wird dieselbe eine drei-, vier- u. s. w. seitige oder kantige Ecke genannt. — Eine dreikantige Ecke, deren begrenzende Ebenen sich unter rechten Winkeln schneiden, die also von 3 ebenen rechten Winkeln begrenzt ist, heißt eine rechte; jede Ecke, bei welcher die Summe der sie begrenzenden ebenen Winkel kleiner als 3 Rechte ist, heißt eine spitze, und jede, bei welcher diese Summe mehr als 3 Rechte beträgt, eine stumpfe Ecke.

Die Ebenen an den Krystallen sind allseitig von Kanten begrenzt; es bildet also eine jede eine geradlinige ebene Figur.

Zur Bildung einer geradlinigen ebenen Figur sind wenigstens drei gerade Linien nöthig.

Jede gerade Linie, welche einen Theil des Umfanges einer Figur ausmacht, heißt eine Seite dieser Figur.

Die geradlinigen ebenen Figuren theilt man nach der Anzahl ihrer Seiten ein in drei-, vier-, fünfseitige 2c.

Regelmäßig heißt eine geradlinige ebene Figur, wenn alle ihre Seiten gleich lang und alle ihre Winkel gleich groß sind.

Die dreiseitige geradlinige ebene Figur heißt ein Dreieck oder Triangel. Die Dreiecke werden eingetheilt:

1) nach den Seiten in:

   a) gleichseitige mit drei gleichen Seiten;

   b) gleichschenkelige mit zwei gleichen Seiten, den Schenkeln des Dreiecks, und einer jenen beiden nicht gleichen Seite, der Grundlinie oder Basis. Die der Basis gegenüberliegende Winkelspitze heißt die Spitze;

   c) in ungleichseitige, in denen keine Seite der anderen gleich ist;

2) nach den Winkeln in:

a) stumpfwinkelige mit Einem stumpfen und zwei spitzen Winkeln;
b) rechtwinkelige mit Einem rechten und zwei spitzen Winkeln. Die beiden den rechten Winkel einschließenden Seiten heißen Katheten, die demselben gegenüberliegende Seite Hypotenuse;
c) spitzwinkelige mit drei spitzen Winkeln.

Im gleichseitigen Dreiecke sind auch alle drei Winkel gleich, folglich sind diese Dreiecke regelmäßig. Im gleichschenkeligen Dreiecke sind die beiden an der Basis liegenden Winkel gleich. Im ungleichseitigen Dreiecke ist kein Winkel dem anderen gleich.

Die vierseitige geradlinige ebene Figur heißt ein Viereck. Die Vierecke werden eingetheilt nach der Richtung ihrer Seiten in:

1) Parallelogramme, in denen je zwei gegenüberstehende Seiten gleichlaufend sind. Diese werden wieder unterschieden in:
   a) Quadrate, mit 4 gleich langen Seiten und 4 gleich großen Winkeln;
   b) Rechtecke, Rectangeln, Oblonge, mit 4 gleich großen Winkeln, aber nicht durchweg gleich langen Seiten;
   c) gleichseitige Rauten, Rhomben, mit 4 gleich langen Seiten, aber nicht durchweg gleich großen Winkeln;
   d) ungleichseitige Rauten, Rhomboide, mit nicht durchweg gleich langen Seiten und nicht durchweg gleich großen Winkeln.

In den Parallelogrammen sind je zwei gegenüberstehende Seiten gleich lang und je zwei gegenüberstehende Winkel gleich groß, folglich ist das Quadrat das regelmäßige Viereck. Im Quadrate und Rechtecke beträgt jeder Winkel einen Rechten.

2) Klinogramme, in denen nicht je zwei gegenüberstehende Seiten gleichlaufend sind. Diese werden wieder unterschieden in:
   a) Trapeze, in denen zwei gegenüberstehende Seiten parallel sind, die beiden anderen aber nicht.
   b) Trapezoide, in denen keine Seite einer anderen parallel ist.

Jede gerade Linie, welche zwei Winkelspitzen einer geradlinigen ebenen Figur verbindet, ohne mit einer Seite zusammen zu fallen, heißt eine Diagonale derselben. Das Dreieck hat keine Diagonale. Das Viereck hat zwei Diagonalen, die sich bei dem Parallelogramm gegenseitig halbiren, bei dem Quadrate und Rhombus sich unter rechten Winkeln schneiden und bei dem Quadrate und Rechtecke unter einander gleich sind.

Der Neigungswinkel oder Kantenwinkel zweier Ebenen ist derjenige Winkel, welchen zwei gerade Linien mit einander bilden, welche in demselben Punkte auf der Kante, in der sich beide Ebenen schneiden, senkrecht stehen, und von denen die eine in der einen, die andere in der anderen Ebene liegt.

Zur Messung der Neigungswinkel an Krystallen bedient man sich des Goniometers (Winkelmesser) *).

Durch die Neigungswinkel je zweier sich schneidenden Flächen, durch die Anzahl und die Gestalt dieser Flächen, welche letztere durch die Verhältnisse ihrer Seiten unter einander und durch die Größe ihrer Winkel bestimmt ist, wird die Gestalt eines geradflächigen Körpers (Krystalls) vollkommen bestimmt.

---

*) Art. Goniometer. Bd. III. S. 631.

Aus dem im Abschnitte A über die Krystallbildung Mitgetheilten geht hervor, daß die Masse eines krystallisirten Körpers vorher in einem nicht krystallinischen oder amorphen Zustande sich befunden hat. In dem amorphen Zustande verhält sich die Masse nach allen Seiten hin vollkommen gleich, so wie aber die Krystallisation beginnt, offenbart sich nach verschiedenen Richtungen hin ein ungleiches Verhalten der auf die Massentheilchen einwirkenden Kräfte. Erstarrt die amorphe Masse, ohne daß diese Differenz zur Geltung kommt, so wird sie die Kugelgestalt annehmen müssen; wirken aber die anziehenden Kräfte in bestimmten Richtungen vorherrschend, so muß die Masse eine von der Kugel abweichende Gestaltung annehmen, und dies ist eben die Krystallgestalt. Es käme nun darauf an, die Richtungen zu bestimmen, in welchen die Kräfte vorzugsweise ihre Wirksamkeit geübt haben. Wollte man hierbei combinatorisch verfahren und unter bestimmten angenommenen Verhältnissen die Krystallgestalt ableiten, so würde man auf eine unendliche Reihe stoßen; hält man sich aber an die in der Natur beobachteten Krystallgestalten, so findet man, wenn man das einfachste Verhältniß als das naturgemäße ansieht, nur eine geringe Anzahl von Fällen, auf die also auch nur näher einzugehen ist.

Um dies an einem bestimmten Beispiele deutlich zu machen, wählen wir den Würfel. Suchen wir die von dem Mittelpunkte ausgehenden Richtungen, zu denen alle zu dem Würfel gehörigen Flächen, Kanten und Ecken eine symmetrische Lage haben; so können erstens drei Richtungen angenommen werden nach den Mittelpunkten je zweier gegenüberstehender Flächen, wobei sich dann diese drei Richtungen im Mittelpunkte unter rechten Winkeln schneiden, oder zweitens vier Richtungen durch den Mittelpunkt des Würfels nach je zwei gegenüberstehenden Ecken gehend, von denen je zwei in einer Ebene liegen und zwar so, daß diese beiden Ebenen senkrecht auf einander stehen, oder drittens vier Richtungen durch den Mittelpunkt des Würfels, die eine nach zwei einander gegenüberliegenden Ecken gehend, die drei anderen die Mittelpunkte der 6 Kanten verbindend, welche nicht zu jenen Ecken gehören, wobei dann die drei letzteren in einer Ebene liegen und unter Winkeln von 60° sich schneiden würden, die erste aber auf der Ebene dieser drei Richtungen senkrecht stände. Von diesen drei Fällen würde man nun den ersten als den einfachsten und naturgemäßesten als den einzig wahren aufzufassen haben. Verfährt man auf gleiche Weise mit den übrigen in der Natur vorkommenden Krystallgestalten, so reduciren sich dieselben auf nur wenige Fälle, nach denen man die verschiedenen Krystallsysteme unterscheidet.

Diese Linien, in welchen man die Kräfte, von denen die Krystallgestalt bedingt war, als wirksam gewesen annimmt, heißen Axen. Die vor den anderen am meisten sich auszeichnende wird als Hauptaxe angenommen und die anderen nennt man Neben- oder Queraxen. Bei der Beschreibung eines Krystalls denkt man sich diesen so vor den Beobachter gestellt, daß seine Hauptaxe senkrecht steht. Liegen die Endpunkte der Hauptaxe in den Mitten zweier einander parallelen Flächen, so heißen diese Endflächen; liegen sie in zwei Ecken, so heißen diese Scheitel; liegen sie in den Mitten zweier Kanten, so heißen sie Gipfelkanten. Das Erste hat z. B. statt bei dem Würfel, das Zweite bei dem regelmäßigen Octaëder, das Dritte bei dem Tetraëder. Flächen, welche einen Scheitel bilden, werden Scheitelflächen genannt, und die zu einem Scheitel gehörigen Kanten Scheitelkanten. Die in einer Gipfelkante sich schneidenden Flächen

nennt man Gipfelflächen. Flächen, welche der Hauptaxe parallel sind, heißen Seitenflächen, so wie der Hauptaxe parallele Kanten Seitenkanten genannt werden. Solche Kanten, die mit der Hauptaxe nicht in derselben Ebene liegen, heißen Randkanten. Mehrere Randkanten schließen sich den Krystall umringend an einander. Die in die Randkanten fallenden Ecken werden Randecken genannt. Wenn nur eine der Queraxen an beiden Enden in Ecken ausläuft, so nennt man diese Querscheitel. Bei manchen Krystallen schließen sich an die Endpunkte gewisser Seiten- oder gewisser Gipfelkanten, zuweilen auch, wenn Seiten- und Gipfelkanten sich durchschneiden, an beide zugleich. Ecken an, welche mehr in gleicher horizontaler Lage mit den Endpunkten der Axe sich befinden, während andere Ecken höhere oder niedrigere Standpunkte haben; jene heißen dann zum Unterschiede von diesen Seitenecken. Nebenkanten sind solche, welche Seitenecken und Querscheitel verbinden. Die Theile der Axen, welche eine bestimmte Fläche des Krystalls von ihnen abschneidet, oder gehörig verlängert abschneiden würde, heißen die Parameter der Fläche.

Sämmtliche bis jetzt beobachtete, in der Natur vorkommende Krystallgestalten lassen sich nach Anzahl der Axen in zwei Klassen bringen, nämlich in Krystalle mit drei Axen, trimetrische Krystalle, und in Krystalle mit vier Axen, tetrametrische Krystalle. Nimmt man noch auf die Lage und Größe der Axen Rücksicht, so erhält man folgende 6 Krystallisationssysteme:

I. Trimetrische Krystalle:

1) die drei Axen stehen senkrecht auf einander und sind

a) gleich: das reguläre, oder gleichgliederige, oder sphäroëdrische (Weiß), oder isometrische (Hausmann), oder tesserale (Naumann, Breithaupt), oder tessularische (Werner, Mohs, Haidinger), oder vielaxige (Naumann) System; z. B. Würfel;

b) ungleich, aber so, daß noch zwei gleich, aber größer oder kleiner als die dritte sind: das 2- und 1axige oder viergliedrige (Weiß), oder monodimetrische (Hausmann), oder pyramidale (Mohs, Haidinger), oder tetragonale (Naumann, Breithaupt) System; z. B. quadratisches Octaëder.

c) ungleich, so daß keine der anderen gleich ist: das 1- und 1axige, oder zwei- und zweigliederige (Weiß), oder anisometrische (Hausmann), oder prismatische (Mohs, Haidinger), oder orthotype (Mohs), oder rhombische (Naumann, Breithaupt) System; z. B. gerade rectanguläre Säule;

2) die drei Axen bilden unter einander nicht lauter rechte, sondern wenigstens einen schiefen Winkel und sind ungleich:

d) zwei Axen stehen senkrecht auf einander, die dritte ist geneigt gegen diese: das 2- und 1gliederige, oder dyhenoëdrische (Weiß), oder monoklinometrische oder monoklinoëdrische (Naumann), oder hemirhombische (Breithaupt), oder hemiprismatische oder hemiorthotype (Mohs) System; z. B. schiefe prismatische Säule.

e) keine Axe steht senkrecht auf der anderen: das 1- und 1gliede-

rige, oder henoëdrische (Weiß), oder triklinometrische, oder triklinoëdrische (Naumann), oder tetartoprismatische, oder anorthotype (Mohs), oder trimetrische (Hausmann), oder tetartorhombische (Breithaupt), oder anorthische (Haidinger) System; z. B. schiefe rhomboidische Säule.

II. Tetrametrische Krystalle:

f) drei gleiche Axen liegen in derselben Ebene und schneiden sich unter Winkeln von 60°, die vierte Axe ist jenen dreien nicht gleich und steht in ihrem Durchschnittspunkte senkrecht auf ihnen: das 3- und 1axige, oder sechsgliederige, oder drei- und dreigliederige (Weiß), oder monotrimetrische (Hausmann, Naumann), oder rhomboëdrische (Mohs, Haidinger) oder hexagonale (Naumann) System, z. B. Rhomboëder.

Die in der Natur vorkommenden Krystallgestalten lassen sich alle in eins dieser Systeme einordnen, doch sind dieselben nicht immer in einer einfachen Form. Die einfachen Formen oder Grundformen nennt man homoëdrische oder pantoëdrische oder holoëdrische im Gegensatze zu den hemiëdrischen und tetartoëdrischen. Die Grundformen erleiden nämlich bisweilen eine eigenthümliche Veränderung, indem entweder die halbe Anzahl ihrer Flächen oder wohl selbst der vierte Theil derselben so groß wird, daß die übrigen ganz aus der Begrenzung verschwinden. Die hierdurch entstehenden Formen heißen nun im ersten Falle hemiëdrische, im anderen tetartoëdrische.

Es wird nun nöthig sein die einzelnen Grundformen der sechs Systeme nicht nur aufzuführen, sondern auch näher zu beschreiben.

Homoëdrische Formen.

I. 1. a. Reguläres Krystallisationssystem.

Dies System enthält 7 homoëdrische Formen, nämlich:

1) Octaëder, 2) Hexaëder, 3) Dodecaëder, 4) Ikositetraëder, 5) Triakisoctaëder, 6) Tetrakishexaëder und 7) Hexakisoctaëder.

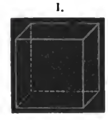


1) Das Octaëder oder der Achtflächner (s. nebenstehende Figur) ist begrenzt von 8 Flächen, welche unter sich gleiche gleichseitige Dreiecke darstellen, unter Winkeln von 109° 28′ 16″ gegen einander geneigt sind und so durch ihre gegenseitige Durchschneidung 12 Kanten bilden, von denen je vier eine der 6 Ecken einschließen, deren ebene Winkel alle = 60° sind. Alle Ecken sind gleich und eben so alle Kanten. Die Axen verbinden je zwei gegenüberstehende Ecken und wegen der Gleichheit der Ecken und Kanten fällt hier die Unterscheidung in Scheitel- und Randecken, so wie in Scheitel- und Randkanten weg. Da jede Fläche alle 3 Axen in gleichen Längen schneidet, so können wir das Octaëder durch das Parameterzeichen [a:a:a] ausdrücken, wo a die Länge des Parameter angiebt.

Beispiele von in dieser Form vorkommenden Mineralien sind: Flußspath, Spinell, Magneteisenstein.

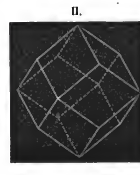
2) Das Hexaëder (der Sechsflächner, Würfel) (s. Fig. I.) ist begrenzt von 6 rechtwinkelig auf einander stehenden quadratischen Flächen, die 8 dreikantige rechte Ecken einschließen und sich in 12 gleichen Kanten schneiden. Die Ecken, eben so die Kanten sind alle unter einander gleich. Die drei Axen verbinden die Mittelpunkte je zweier paralleler Flächen, und da jede Fläche eine der 3 Axen rechtwinkelig schneidet, den beiden anderen aber parallel ist, so kann man das Hexaëder durch das Zeichen [a : ∞ a : ∞ a] ausdrücken. Auch bei dieser Form fällt die Unterscheidung in Endflächen und Seitenflächen 2c. weg. Beispiele sind: Flußspath, Steinsalz, Schwefelkies.

I.



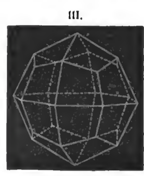
3) Das Dodecaëder, der Zwölfflächner, das Rhombendodecaëder, Granatoëder nach Weiß oder Tetragonaldodecaëder (Mohs) (s. Fig. II.) ist begrenzt von 12 Rhomben, mit Winkeln von 109° 28′ 16″ und 70° 31′ 44″. Die 24 Kanten sind gleich und der Kantenwinkel beträgt 120°. Die 14 Ecken sind verschieden und zwar von doppelter Art. 6 Ecken sind vierkantig, die 8 übrigen dreikantig; diese werden von je dreien der stumpfen, jene von je vieren der spitzen ebenen Winkel gebildet. Die drei Axen verbinden je zwei gegenüberliegende spitze Ecken, und da diese wie die Ecken bei dem Octaëder liegen, so heißen sie Octaëder-Scheitel. Jede Fläche des Dodecaëders ist einer dieser Axen parallel, während sie die beiden anderen in gleichen Parametern schneidet; das Zeichen ist daher [a : a : ∞ a]. Beispiele sind: Granat, Hauyn, Sodalith.

II.



4) Die Ikositetraëder (Naumann), Vierundzwanzigflächner, Leucitoide (Weiß) oder Zweikantige Tetragonalikositetraëder (Mohs) kommen in mehreren Formen vor. Sie sind (s. Fig. III.) begrenzt von 24 Flächen, haben 48 Kanten und 26 Ecken. Die Flächen sind symmetrische Trapezoide mit zweierlei Seiten und dreierlei Winkeln; die Kanten zerfallen in 24 längere und 24 kürzere; von den Ecken sind 8 regulär und 3kantig, 6 regulär und 4kantig, 12 symmetrisch und 4kantig. Die drei Axen liegen in den 6 regulären und 4 kantigen Ecken, so daß je zwei längere Kanten zwei Axen verbinden. Diese 6 Ecken heißen deshalb wieder Octaëderecken. Jede Fläche eines Ikositetraëders schneidet von den drei Axen 2 gleiche und einen dritten verschiedenen Parameter ab, und zwar kennt man bis jetzt 2 Arten von Ikositetraëdern, die eine mit dem Verhältnisse der Parameter [a : a : $^1/_2$ a],

III.



die andere mit dem Verhältnisse [a : a : $\frac{1}{3}$ a]; das allgemeine Zeichen würde sein: [a : a : $\frac{1}{m}$ a], wo m ganze oder gebrochene rationalle Zahlen, die größer als 1 sind, bedeutet. Beispiele sind: Leucit, Granat, Analcim.

5) Die *Triakisoctaëder* (*Naumann*), *Dreimalachtflächner*, *Pyramidenoctaëder*, *Octaëdrische Trigonalikositetraëder* (*Mohs*) oder *Pyramidenachtflache* sind (s. Fig. I.) begrenzt von 24 gleichschenkeligen Dreiecken, die so gestellt sind, daß der ganze Krystall das Ansehen erhält, als ob auf den Seiten eines Octaëders dreiseitige Pyramiden aufgesetzt wären. Sie haben 36 *Kanten*, von denen 12 mit den Octaëderkanten zusammenfallen, und 24 über der Mitte der Octaëderflächen zu je drei in einer Ecke zusammenlaufen. Von den 14 *Ecken* sind 6 achtkantig und symmetrisch, 8 dreikantig und regulär. Die drei *Axen* liegen in den 6 achtkantigen Ecken (Octaëderecken). Man kennt bis jetzt 2 Arten dieser Krystallform mit dem Verhältnisse der Parameter [a : a : 2 a] und [a : a : 3 a], so daß das allgemeine Zeichen [a : a : m a] sein würde. Beispiel Diamant.

I.



6) Die *Tetrakishexaëder* (*Naumann*), *Viermalsechsflächner*, *Pyramidenwürfel* oder *Hexaëdrische Trigonalikositetraëder* (*Mohs*), sind (s. Fig. II.) ebenfalls begrenzt von 24 gleichschenkeligen Dreiecken, die aber so gestellt sind, daß der ganze Krystall das Ansehen erhält, als ob auf den Seiten eines Hexaëders (Würfels) vierseitige Pyramiden aufgesetzt wären. Sie haben 36 *Kanten*, von denen die 12 längeren mit den Kanten des Hexaëders zusammenfallen, und die 24 kürzeren über der Mitte der Hexaëderflächen zu je vier in einer Ecke zusammenlaufen. Von den 14 *Ecken* sind 8 sechskantig und symmetrisch, 6 vierkantig und regulär. Die drei *Axen* liegen in den 6 vierkantigen Ecken (Octaëderecken). Man kennt bis jetzt 4 Arten dieser Krystallform mit dem Verhältnisse der Parameter: [$\frac{3}{2}$ a : a : ∞ a], [2 a : a : ∞ a], [$\frac{5}{2}$ a : a : ∞ a] und [3 a : a : ∞ a], so daß das allgemeine Zeichen: [a : m a : ∞ a] sein würde. Beispiele sind: Gold und Kupfer.

II.



III.

7) Die *Hexakisoctaëder* (*Naumann*), *Sechsmalachtflächner*, *Pyramidenrautenzwölfflach*, *Tetrakontaoctaëder* (*Mohs*) oder *Pyramidengranatoëder* (*Weiß*) sind begrenzt (s. Fig. III.) von 48 ungleichseitigen Dreiecken, von denen je 6 um die 8 Octaëderecken gelegen sind. Sie haben 72 *Kanten*, von denen

24 zu je 2 zwei Octaëderaxen, 24 andere ebenfalls zu je 2 zwei Hexaëderaxen gehören und die übrigen 24 die Octaëder- und Hexaëderaxen verbinden. Von den 26 Ecken sind 6 achtkantig und symmetrisch, 12 vierkantig und symmetrisch und 8 sechskantig und symmetrisch. Die drei Axen liegen in den 6 achtkantigen Ecken (Octaëderecken). Man kennt bis jetzt 5 Arten dieser Krystallform mit den Verhältnissen der Parameter: [a:$^1/_2$a:$^1/_3$a], [a:$^1/_3$a:$^1/_4$a], [a:$^1/_2$a:$^1/_4$a], [a:$^1/_3$a:$^1/_7$a] und [$^1/_3$a:$^1/_5$a:$^1/_{11}$a], so daß das allgemeine Zeichen [a : $\frac{1}{m}$ a : $\frac{1}{n}$ a] sein würde. Beispiele liefern Granat und Flußspath.

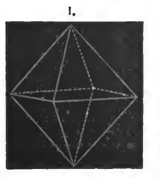
I. 1. b. Zwei- und einaxiges Krystallisationssystem.

Dies System enthält 6 homoëdrische Formen, nämlich:

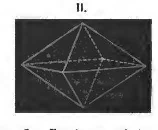
1) Quadratoctaëder, 2) Gerade Endfläche, 3) Vierseitiges Prisma Nr. 1, 4) Vierseitiges Prisma Nr. 2, 5) Dioctaëder und 6) Achtseitiges Prisma.

1) Das Quadratoctaëder (s. Fig. I. u. II.) ist begrenzt von 8 gleichen gleichschenkeligen Dreiecken, hat 12 Kanten und 6 Ecken. Von den Kanten sind 8 Scheitelkanten, vier obere und vier untere, die unter einander gleich sind und von denen je vier eine rhombische Durchschnittsebene einschließen; die 4 übrigen

I.



II.



Kanten sind Randkanten und der durch dieselben gelegte Schnitt ist ein Quadrat. Die Ecken sind alle 4kantig, aber nur zwei von ihnen sind gleichkantig und heißen Scheitel, die übrigen vier sind nur symmetrisch und heißen Randecken. Die Hauptaxe verbindet die beiden Scheitel, die Queraxen verbinden je zwei gegenüberstehende Randecken oder die Mittelpunkte zweier entgegengesetzter Randkanten. Liegen die Queraxen auf die erste Art, so nennt man das Quadratoctaëder von der ersten Ordnung; liegen sie aber auf die zweite Art, so von der zweiten Ordnung. Dieser scheinbar willkürliche Unterschied wird nothwendig durch das Vorkommen von Krystallen, die Quadratoctaëder mit gerade abgestumpften Scheitelkanten sind, ein Vorkommen, welches sich nur durch eine Combination zweier Quadratoctaëder von den beiden angegebenen Ordnungen erklären läßt. Ist die Hauptaxe größer, als jede der Queraxen, so heißt das quadratische Octaëder spitz, ist sie kleiner, so stumpf. Es giebt viele Quadratoctaëder. Bezeichnet man die Hälften der Hauptaxen mit c, die der beiden gleichen Queraxen mit a, so erhält man als allgemeines Zeichen [a : a : c] und insbesondere für die Quadratoctaëder erster Ordnung [a : a : mc], für die der zweiten Ordnung [a : ∞ a : mc]. Beispiel Anatas.

2) Die gerade Endfläche ist eine Fläche, welche nie allein für sich einen Körper bilden kann, sondern stets mit anderen zugleich vorkommen muß (s. Fig. I.).

I.



Sie ist rechtwinkelig gegen die Hauptaxe geneigt, also den Queraxen parallel, so daß ihr Zeichen ist [∞ a : ∞ a : c]. Wir finden die gerade Endfläche z. B. bei dem Honigsteine. Herrscht die gerade Endfläche in der Combination mit dem Octaëder vor, so wird der Krystall tafelförmig.

3) und 4) Die vierseitigen Prismen Nr. 1 und Nr. 2 kommen ebenfalls nicht allein für sich vor. Sie bilden rechtwinkelige vierseitige Säulen in Verbindung mit dem Quadratoctaëder, und treten sie auf als Abstumpfungen der Randkanten der Quadratoctaëder erster Ordnung, so sind es vierseitige Prismen Nr. 1 mit dem Zeichen [a : a : ∞ c] oder [ma : ma : ∞ c]; treten sie aber auf als Abstumpfungen der Randecken der Quadratoctaëder erster Ordnung oder der Randkanten der Quadratoctaëder zweiter Ordnung, so sind es vierseitige Prismen Nr. 2 mit dem Zeichen [a : ∞ a : ∞ c] oder [ma : ∞ a : ∞ c] oder [$\frac{1}{m}$ a : ∞ a : ∞ c]. Beispiele findet man beim Zirkon, Zinnstein u. a.

5) Die Dioctaëder, Zweimalachtflächner, Vierundvierkantner (Weiß), Ditetragonale Pyramiden (Naumann) oder ungleichschenkelige achtseitige Pyramiden (Mohs) sind von 16 ungleichseitigen Dreiecken eingeschlossen, haben 24 Kanten und 10 Ecken (s. Fig. II.).

II.



Im Allgemeinen haben sie das Ansehen von Quadratoctaëdern, über deren Flächen, in der Richtung der Diagonalen, Kanten herausgetreten sind. Von den Kanten liegen 8 meistens schärfere und längere wie die Scheitelkanten von Quadratoctaëdern erster Ordnung, 8 meistens stumpfere und kürzere wie die Scheitelkanten von Quadratoctaëdern zweiter Ordnung, und die 8 übrigen entsprechen je zwei einer Randkante der Quadratoctaëder. Von den Ecken liegen 2 in den Scheiteln der Quadratoctaëder und sind 8kantig und symmetrisch, 4 in den Randecken der Quadratoctaëder erster Ordnung und 4 in den Randecken der Quadratoctaëder zweiter Ordnung und sind 4kantig und symmetrisch. Das allgemeine Zeichen ist [a : na : mc]. Beisp. Zirkon.

6) Die achtseitigen Prismen kommen nicht leicht für sich allein vor, haben 8 Seitenflächen und zweierlei, abwechselnd schärfere und stumpfere Kanten, die alle der Hauptaxe parallel laufen. Das allgemeine Zeichen ist [a : na : ∞ c], wo n eine einfache und rationale ganze oder gebrochene Zahl bedeutet. Beispiel: Vesuvian.

I. 1. c. Ein- und einaxiges Krystallisationssystem.

Dies System enthält homoëdrische Formen von dreierlei Art, nämlich solche, deren Flächen gegen alle 3 Axen geneigt sind, solche, deren Flächen nur gegen 2 Axen geneigt sind, mit der dritten aber parallel laufen, und solche, deren Flächen nur gegen eine Axe geneigt sind, aber mit den beiden anderen parallel laufen. Da nur die Formen der ersten Art den Raum für sich allein vollständig begrenzen

können, die anderen beiden aber nicht, so kommen die beiden letzteren Formen, wie wir dies auch schon im vorigen Systeme gesehen haben, nur in Combinationen vor mit den Formen der ersten Art. Die Formen der ersten Art sind durchweg

Rhombenoctaëder (s. Fig. I.), begrenzt von 8 ungleichseitigen Dreiecken mit 12 Kanten und 6 Ecken. Die Kanten sind dreierlei: 4 Scheitelkanten von den Endpunkten der Hauptaxe nach der ersten Nebenaxe, 4 Scheitelkanten von den Endpunkten der Hauptaxe nach der zweiten Nebenaxe und 4 Randkanten zwischen den Endpunkten der Nebenaxen. Die Ecken sind auch dreierlei: alle 4kantig und symmetrisch, an den Endpunkten der Axen liegend, so daß die zu derselben Axe gehörigen gleich sind. Das allgemeine Zeichen ist [a : b : c]. Beispiel: Schwefel.

I.



Die Formen der zweiten Art sind geschobene vierseitige Prismen, deren Flächen in der Richtung der dreierlei Kanten der verschiedenen Rhombenoctaëder liegen. Es treten diese jedoch nur paarweise zu je zweien an der oberen und unteren Hälfte eines Krystalls auf. Die Zeichen für die vorkommenden Prismen sind: [ma : nc : ∞ b], [ma : nb : ∞ c] und [mb : nc : ∞ a]. Beispiele finden sich bei dem Topas.

Die Formen der dritten Art sind dreierlei verschiedene Paare von Flächen nach den drei verschiedenen Axen, welche von ihnen rechtwinkelig geschnitten werden. Die Zeichen dieser Flächen sind: [a : ∞ b : ∞ c], [∞ a : b : ∞ c] und [∞ a : ∞ b : c]. Alle diese Flächen bilden Rhomben. Beispiele bietet der Anhydrit.

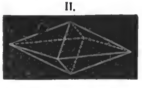
I. 2. d. Zwei- und eingliederiges Krystallisationssystem.

Die Formen dieses Systems sind wie die der vorhergehenden von dreierlei Art, nämlich solche, deren Flächen gegen alle 3 Axen geneigt sind, oder nur gegen 2 geneigt, während sie mit der dritten parallel laufen, oder nur gegen eine Axe geneigt und mit den anderen beiden parallel.

Die Formen der ersten Art sind:

Die zwei- und eingliederigen Octaëder, begrenzt (s. Fig. II.) von 8 Flächen mit 12 Kanten und 6 Ecken. Die Flächen sind ungleichseitige Dreiecke von zweierlei Art. Die Kanten sind viererlei, nämlich 4 Scheitelkanten, die Endpunkte der Axen a und c, und 4 desgleichen, die Endpunkte der Axen b und c verbindend, endlich 4 Randkanten zwischen den Endpunkten der Queraxen. Die Kanten, welche a und c verbinden, sind nicht alle gleich, sondern nur die einander gegenüberliegenden. Die Ecken sind vierflächig und von dreierlei Art, nämlich 2 Ecken an den Enden der Hauptaxe mit drei verschiedenen Kanten, 2 Ecken an den Enden der einen Queraxe ebenfalls mit drei verschiedenen Kanten und 2 symmetrische Ecken an der anderen Queraxe. Das allgemeine Zeichen würde sein [a : b : c], und nimmt man dies für eine Form als Grundform an, so ergeben sich dann für die übrigen hierher gehörigen Octaëder die

II.



Zeichen: [a : b : mc], [a : mb : c], [ma : b : c] und [ma : ab : c]. Beispiele finden sich beim Gyps.

Die Formen der zweiten Art sind wie im vorhergehenden Systeme geschobene vierseitige Prismen mit den Zeichen [a : mb : ∞ c], [a : ∞ b : mc] und [∞ a : b : mc]. Beispiel: Gyps, Augit.

Die Formen der dritten Art sind dreierlei verschiedene Paare von Flächen mit den Zeichen: [a : ∞ b : ∞ c], [∞ a : b : ∞ c] und [∞ a : ∞ b : c]. Beispiel: Augit, Feldspath.

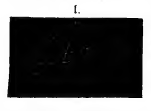
I. 2. e. Ein- und eingliederiges Krystallisationssystem.

Auch in diesem Systeme sind die Formen in drei Arten zu unterscheiden, wie in den beiden vorhergehenden, je nachdem die Flächen gegen alle drei, oder nur gegen 2 oder nur gegen eine Axe geneigt sind.

Die Formen der ersten Art sind:

Die ein- und eingliederigen Octaëder, begrenzt (s. Fig. I.) von 8 Flächen mit 12 Kanten und 6 Ecken. Die Flächen sind ungleichseitige Dreiecke von viererlei Art, da nur die parallelen gleich sind. Die Kanten sind sechserlei; die Ecken dreierlei, alle mit vier verschiedenen Kanten. Die in der Ebene zweier Axen genommenen Schnitte sind Rhomboide. Das allgemeine Zeichen würde sein [a : b : c]. Welche Axe als Hauptaxe zu nehmen ist, bleibt willkürlich; in dem Zeichen soll c dieselbe bedeuten.

I.



Die Formen der zweiten Art sind wieder Prismen und zwar verticale, wenn ihre Flächen der Hauptaxe parallel laufen, oder horizontale, wenn dies mit den Queraxen der Fall ist. Die Zeichen sind: [a : b : ∞ c], [a : ∞ b : c] und [∞ a : b : c].

Die Formen der dritten Art sind wieder dreierlei verschiedene Paare von Flächen, die hier auf den verschiedenen Axen schiefwinkelig stehen. Die Zeichen sind: [a : ∞ b : ∞ c], [∞ a : b : ∞ c] und [∞ a : ∞ b : c]. Beispiele: Diaspor, Cyanit, Labrador, Axinit.

II. f. Drei- und einaxiges Krystallisationssystem.

Dies System hat 5 homoëdrische Formen, nämlich:

1) Hexagondodecaëder, 2) Gerade Endfläche, 3) Sechsseitige Prismen, 4) Didodecaëder und 5) Zwölfseitige Prismen.

II.



1) Die Hexagondodecaëder (Rose), Dihexaëder (Weiß), Hexagonale Pyramiden (Naumann), Gleichschenkelige sechsseitige Pyramiden und Dirhomboëder (Mohs) sind (s. Fig. II.) begrenzt von 12 gleichen gleichschenkeligen Dreiecken und haben 18 Kanten und 8 Ecken. Die Kanten sind zweierlei, nämlich 12 Scheitelkanten und 6 Randkanten. Die Ecken sind ebenfalls zweierlei, nämlich 2 Scheitel, sechskantig und regulär, und 6 Randecken, vierkantig und symmetrisch. Man unterscheidet spitze und stumpfe Hexagondodecaëder, je nachdem die Hauptaxe länger oder kürzer

ist als jede der Queraxen. Bezeichnen wir die 3 Queraxen mit a und die Hauptaxe wieder mit c, so wird das allgemeine Parameterzeichen [a : a : ∞ a : c]. Wie bei den Quadratoctaëdern des zwei- und einaxigen Krystallisationssystems muß man Hexagondodecaëder erster und zweiter Ordnung unterscheiden, jene mit dem Zeichen [a : a : ∞ a : mc], diese mit dem Zeichen [2a : a : 2a : mc], wo m eine einfache rationale, ganze oder gebrochene Zahl bedeutet. Beisp.: Quarz.

2) Die gerade Endfläche ist eine als Abstumpfungsfläche der Scheitel auftretende, auf der Hauptaxe senkrecht stehende Fläche von der Form eines regelmäßigen Sechsecks. Ihr Zeichen ist [∞ a : ∞ a : ∞ a : c].

3) Die sechsseitigen Prismen bestehen aus 6 der Hauptaxe parallelen Flächen, welche, wie die Hexagondodecaëder, in zwei Ordnungen zerfallen, so daß das Zeichen des ersten sechsseitigen Prismas [a : a : ∞ a : ∞ c], das des zweiten sechsseitigen Prismas [2a : a : 2a : ∞ c] ist. Beispiele finden sich beim Quarz.

4) Die Didodecaëder (Rose), Sechs- und Sechskantner (Weiß), Dihexagonale Pyramiden (Naumann), Ungleichschenkelige zwölfseitige Pyramiden (Mohs) sind von 24 ungleichseitigen Dreiecken begrenzt (s. nebenstehende Figur), haben 36 Kanten und 14 Ecken. Sie haben im Allgemeinen das Ansehen von Hexagondodecaëdern, über deren Flächen in der Richtung der Diagonalen Kanten herausgetreten sind. Die Kanten sind dreierlei: 12 Scheitelkanten wie die Scheitelkanten des Hexagondodecaëders erster Ordnung, 12 Scheitelkanten wie die des Hexagondodecaëders zweiter Ordnung und 12 Randkanten, je zwei einer Randkante des Hexagondodecaëders entsprechend. Die Ecken sind dreierlei: 2 zwölfkantige symmetrische Scheitelecken, und 12 vierkantige symmetrische Randecken, von denen je 6 den Randecken der Hexagondodecaëder erster und zweiter Ordnung entsprechen. Das allgemeine Parameterzeichen ist: [a : na : pa : mc]. Beisp.: Beryll.



5) Die zwölfseitigen Prismen oder sechsundsechskantigen Prismen erscheinen als gerade Abstumpfungen der Randkanten der Didodecaëder, haben 12 Flächen und Kanten, welche der Hauptaxe parallel laufen. Die Kanten sind zweierlei, nämlich abwechselnd schärfer und stumpfer. Das allgemeine Parameterzeichen ist: [a : na : pa : ∞ c].

Nachdem wir die homoëdrischen Formen der 6 Krystallisationssysteme zusammengestellt haben, erscheint es nothwendig auch die hemiëdrischen Formen näher zu betrachten.

Hemiëdrische Formen.

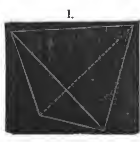
I. 1. a. Reguläres Krystallisationssystem.

Dies System enthält 6 hemiëdrische Formen, nämlich:

1) Hemi-Octaëder, 2) Hemi-Ikositetraëder, 3) Hemi-Triakisoctaëder, 4) Hemi-Hexakisoctaëder, 5) Hemi-Tetrakishexaëder und 6) Hemi-Octakishexaëder.

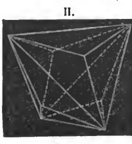
1) Das Hemi-Octaëder, Tetraëder, Halbachtflächner oder Vierflächner ist (s. Fig. I.) umgrenzt von 4 gleichen gleichseitigen Dreiecken, welche unter Winkeln von 70° 31′ 44″ gegen einander geneigt sind, in 6 gleichen Kanten sich schneiden und 4 gleiche Ecken bilden. Die 3 Axen verbinden die Mittelpunkte je zweier gegenüberliegender Kanten. Zeichen: $\frac{1}{2}$ [a : a : a]. Beisp.: Zinkblende, Fahlerz.

I.



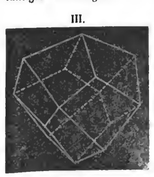
2) Die Hemi-Ikositetraëder, Pyramidentetraëder, Trigondodecaëder (Naumann), Trigonaldodecaëder (Mohs) oder Halbvierundzwanzigflächner sind (s. Fig. II.) von 12 gleichschenkeligen Dreiecken begrenzt, haben 18 Kanten und 8 Ecken. Die Kanten sind zweierlei: 6 schärfere und längere, wie die Kanten des Hemi-Octaëders liegend, von den Grundseiten der Dreiecke gebildet, und 12 stumpfere und kürzere, von den Schenkeln der Dreiecke gebildet. Die Ecken sind auch zweierlei: 4 sechskantige symmetrische, wie die Ecken des Hemi-Octaëders liegend, und 4 dreikantige regelmäßige, den Flächen des Hemi-Octaëders entsprechend. Die drei Axen liegen in den Mittelpunkten der 6 schärferen Kanten. Das allgemeine Parameterzeichen ist: $\frac{1}{2}$ [a : a : $\frac{1}{m}$ a]. Beisp. Fahlerz von der Zilla zu Clausthal.

II.



3) Die Hemi-Triakisoctaëder, Trapezoiddodecaëder (Weiß), Deltoiddodecaëder (Naumann), Zweikantiges Tetragonaldodecaëder (Mohs) oder Halbdreimalachtflächner sind (s. Fig. III.) begrenzt von 12 symmetrischen Trapezoiden, die denen der Ikositetraëder ähnlich sind, haben 24 Kanten und 14 Ecken. Die Kanten sind zweierlei: 12 schärfere und längere, je zwei ähnlich wie die Kanten des Hemi-Octaëders liegend; 12 stumpfere und kürzere, ähnlich liegend wie Linien, die von den Mittelpunkten der Flächen eines Hemi-Octaëders nach den Mitten der Kanten gehen würden. Die Ecken sind dreierlei: 6 vierkantige symmetrische, wie die Octaëderecken liegend; 4 dreikantige reguläre, wie die Ecken des Hemi-Octaëders liegend und 4 dreikantige reguläre, in ihrer Lage den Flächen des Hemi-Octaëders entsprechend. Das allgemeine Parameterzeichen würde sein: $\frac{1}{2}$ [a : a : na], man kennt aber bis jetzt nur ein Hemi-Triakisoctaëder, welches nicht einmal selbstständig vorkommt, mit dem Zeichen: $\frac{1}{2}$ [a : a : 2a]. Beisp.: Fahlerz von Dillenburg.

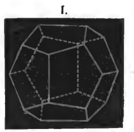
III.



4) Die Hemi-Hexakisoctaëder, Gebrochene Pyramidente-

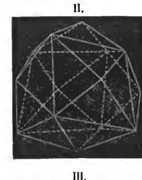
traëder (Weiß), Hexakistetraëder (Naumann), Tetraëdrische Trigonalikositetraëder (Mohs), oder Halbsechsmalachtflächner sind (s. Fig. I.) begrenzt von 24 ungleichseitigen Dreiecken, haben 36 Kanten und 14 Ecken. Die Kanten sind dreierlei: 12 schärfere paarweise über den Kanten des eingeschriebenen Hemi-Octaëders, also wie die ersten Kanten des Hemi-Triakisoctaëders liegend; 12 stumpfere längere und 12 stumpfere kürzere, die abwechselnd zu einer symmetrischen Ecke über der Mitte der Flächen des Hemi-Octaëders zusammentreten. Die Ecken sind auch dreierlei; 6 symmetrische vierkantige, den Octaërecken entsprechend; 4 symmetrische sechskantige, den Ecken des Hemi-Octaëders entsprechend und 4 ebenfalls symmetrische sechskantige, ähnlich wie die Ecken des Hemi-Ikositetraëders und Hemi-Triakisoctaëders liegend. Das allgemeine Parameterzeichen ist: $^1/_2$ [a : ma : na], man kennt aber bis jetzt nur zwei Arten, nämlich: $^1/_2$ [a : $^1/_2$ a : $^1/_3$ a] und $^1/_2$ [a : $^1/_3$ a : $^1/_5$ a]. Beispiele: Fahlerz und Borazit.

I.

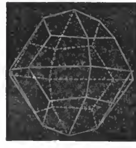


5) Die Hemi-Tetrakishexaëder, Pyritoëder (Weiß), Pentagondodecaëder (Naumann), Hexaëdrische Pentagonaldodecaëder (Mohs) oder Halbviermalsechsflächner sind (s. Fig. II.) von 12 symmetrischen Fünfecken, d. h. solchen, welche zweierlei Seiten: 4 gleiche und eine einzelne, und dreierlei Winkel: 2 Paar gleiche und einen einzelnen, haben, eingeschlossen; haben 36 Kanten und 20 Ecken. Die Kanten sind zweierlei: 6 gebildet von den einzelnen Seiten je zweier Fünfecke und der Lage nach den Flächen des Hexaëders entsprechend, und 24 gebildet von je 2 gleichen Seiten der aneinanderstoßenden Fünfecke. Die Ecken sind auch zweierlei: 12 dreikantige unregelmäßige, an den Enden der Grundkanten liegend, und 8 dreikantige regelmäßige, den Ecken des Hexaëders entsprechend. Je zwei entgegengesetzte Flächen sind parallel und die drei Axen verbinden die Mittelpunkte der Grundkanten. Das allgemeine Parameterzeichen ist $^1/_2$ [a : ma : ∞ a]. Beisp.: Schwefelkies, Glanzkobalt.

II.



III.



6) Die Hemi-Octakishexaëder, Gebrochene Pentagondodecaëder (Weiß), Dyakisdodecaëder (Naumann), Dreikantige Tetragonalikositetraëder (Mohs) oder Halbachtmalsechsflächner (s. Fig. III.) sind begrenzt von 24 Trapezoiden mit dreierlei Seiten, von denen die beiden gleichen neben einander liegen, haben 48 Kanten und 26 Ecken. Die Kanten sind dreierlei: 12 kurze, paarweise über den Grundkanten des Hemi-Tetrakishexaëders liegend; 24 längere, zu dreien an einander stoßend, und

12 längste, ähnlich wie Linien liegend, die auf den Flächen des Hemi-Tetrakisheraëders senkrecht auf die Grundkanten gezogen werden. Die Ecken sind ebenfalls dreierlei: 6 symmetrische vierkantige, wie die Octaëderecken liegend, 8 regelmäßige dreikantige, wie die Heraëderecken liegend, und 12 unregelmäßige vierkantige, über den Octaëderkanten liegend. Das allgemeine Parameterzeichen ist: $^1/_2$ [a : ma : na]. Beisp.: Schwefelkies.

Die vier ersten hemiedrischen Formen sind geneigtflächig, die beiden letzten parallelflächig.

I. 1. b. Zwei- und einariges Krystallisationssystem.

Die hemiedrischen Formen dieses Systems sind sehr selten bis jetzt beobachtet.

1) Das Hemi-Octaëder, Quadrattetraëder oder Tetragonale Sphenoid (Naumann), begrenzt von 4 gleichschenkeligen Dreiecken mit 6 Kanten und 4 Ecken. 2 Kanten sind Endkanten und 4 Seitenkanten. Die Ecken sind unregelmäßig dreikantig. Zeichen: $^1/_2$ [a : a : c]. Beispiel: Kupferkies.

2) Das Hemi-Dioctaëder oder Tetragonale Skalenoëder (Naumann), begrenzt von 8 ungleichseitigen Dreiecken mit 12 Kanten und 6 Ecken.

I. 1. c. Ein- und einariges Krystallisationssystem.

Die hemiedrischen Formen dieses Systems sind noch seltener als die des vorhergehenden. Sie sind ebenfalls Hemi-Octaëder oder Tetraëder und treten untergeordnet an homoëdrischen Formen auf, z. B. beim Bittersalze und Manganit.

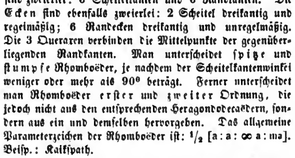
I. 2. d. Das zwei- und eingliederige und

I. 2. e. Das ein- und eingliederige Krystallisationssystem bieten keine hemiedrischen Formen dar.

II. f. Drei- und einariges Krystallisationssystem.

Die hemiedrischen Formen werden in diesem Systeme am zahlreichsten gefunden.

1) Die Hemi-Dodecaëder oder Rhomboëder sind (s. beistehende Figur) begrenzt von 6 Rhomben, haben 12 Kanten und 8 Ecken. Die Kanten sind zweierlei: 6 Scheitelkanten und 6 Randkanten. Die Ecken sind ebenfalls zweierlei: 2 Scheitel dreikantig und regelmäßig; 6 Randecken dreikantig und unregelmäßig. Die 3 Queraxen verbinden die Mittelpunkte der gegenüberliegenden Randkanten. Man unterscheidet spitze und stumpfe Rhomboëder, je nachdem der Scheitelkantenwinkel weniger oder mehr als 90° beträgt. Ferner unterscheidet man Rhomboëder erster und zweiter Ordnung, die jedoch nicht aus den entsprechenden Heragondodecaëdern, sondern aus ein und demselben hervorgehen. Das allgemeine Parameterzeichen der Rhomboëder ist: $^1/_2$ [a : a : ∞ a : ma]. Beisp.: Kalkspath.



2) Die Hemi-Didodecaëder, Drei- und Dreikantner (Weiß), Skalenoëder (Naumann) oder Halbzweimalzwölfflächner sind

(s. Figur I.) begrenzt von 12 ungleichseitigen Dreiecken, haben 18 Kanten und 8 Ecken. Die Kanten sind dreierlei: 6 kürzere und schärfere, 6 längere und stumpfere Scheitelkanten und 6 Randkanten. Die Ecken sind zweierlei: 2 Scheitel, sechskantig und symmetrisch und 6 Randecken, vierkantig und unregelmäßig. Die 3 Queraxen verbinden die Mittelpunkte der gegenüberliegenden Randkanten. Das allgemeine Zeichen ist: $^1/_2$ [a : na : pa : mc]. Beisp.: Kalkspath.

I.



Diese beiden hemiedrischen Formen sind parallelflächig; es kommen jedoch auch noch geneigtflächige hemiedrische Formen in diesem Systeme vor. Da diese sehr selten gefunden werden, so erwähnen wir sie nur dem Namen nach, nämlich:

1) Die trigonalen Pyramiden (Naumann) und 2) die hexagonalen Trapezoëder (Naumann).

Tetartoëdrische Formen.

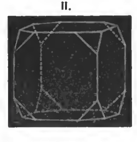
Die tetartoëdrischen Formen finden sich selten und sind hemiedrische Formen der Hemi-Didodecaëder. Die eine Form ist parallelflächig und bildet ein gedrehtes Rhomboëder, die andere Form ist geneigtflächig, nämlich das trigonale Trapezoëder (Naumann), welches bis jetzt nur beim Quarz beobachtet worden ist.

Wegen genauerer, ins Einzelne eingehender Beschreibung verweisen wir auf: Elemente der Krystallographie von Gustav Rose. Berlin 1833. und wegen der mathematischen Verhältnisse auf:

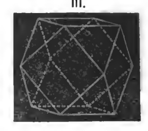
Grundriß der mathematischen Verhältnisse der Krystalle von Pfaff. Nördlingen 1853.

Außer in den eben aufgeführten einfachen Formen treten die Krystalle auch in zusammengesetzten auf. Der Unterschied besteht darin, daß eine einfache Form begrenzt wird von lauter gleichnamigen Flächen, eine zusammengesetzte hingegen von ungleichnamigen; jene z. B. von lauter Dreiecken wie bei dem Octaëder, oder von lauter Rhomben wie bei dem Dodecaëder, diese hingegen z. B. von Quadraten und Dreiecken oder Achtecken und Dreiecken x., wie die Figuren II. und III. zeigen. Um jedes Mißverständniß zu beseitigen, möchte

II.



III.



es gut sein noch zu bemerken, daß bei den einfachen Formen die Kanten und Ecken nicht gleich zu sein brauchen (sie sind es zwar z. B. bei dem Octaëder und Hexaëder, aber nicht bei dem Ikositetraëder), eben so wenig, wie bei den zusammengesetzten Formen eine Ungleichheit derselben etwa bedingt wäre (bei dem eben angeführten Krystalle, welcher aus Quadraten und Dreiecken gebildet und Mittelkrystall zwischen Octaëder und Hexaëder genannt wird, findet z. B. Gleichheit der Kanten und Ecken statt). Denkt man sich an einer zusammengesetzten Form die gleichnamigen Flächen so vergrößert, daß alle übrigen dadurch aus der Begrenzung des Krystalls zum Verschwinden kommen, so bilden diese vergrößerten Flächen eine einfache Form. Läßt man bei dem Mittelkrystalle zwischen Octaëder und Hexaëder, z. B. die Quadrate größer werden bis zum Verschwinden der Dreiecke, oder bei dem zweiten eben angeführten Beispiele die Achtecke ebenfalls bis zu dem Verschwinden der Dreiecke, so erhält man ein Hexaëder; thut man hingegen Dasselbe mit den Dreiecken, bis in dem einen Falle die Quadrate, im anderen die Achtecke vollständig verschwinden, so erhält man ein Octaëder. Eine zusammengesetzte Form läßt sich also als eine Combination aus so vielen einfachen Formen ansehen, als an derselben verschiedene Arten gleichnamiger Flächen auftreten. Die eben angeführten Beispiele sind also Combinationen des Octaëders mit dem Hexaëder.

Hieraus erklärt sich auch, warum wir oben unter den einfachen Formen zum Theil solche mit aufgeführt haben, welche für sich allein den Raum nicht begrenzen würden und nur in Combinationen vorkommen. Man nennt solche Flächen, welche für sich allein den Raum nicht begrenzen würden, wohl auch *zusammengehörige Flächen*.

Die Flächen einer jeden einfachen Form in einer Combination können natürlich nicht in ihrer vollen Ausdehnung erscheinen, sondern die eine einfache Form schneidet gewissermaßen von den Flächen der anderen, mit ihr combinirten einfachen Form Theile ab. Die einfache Form, deren Flächen noch vorherrschen, bildet die *Grundform*, die untergeordneten Flächen sind *Abänderungsflächen*. In dem einen oben angeführten Beispiele herrscht z. B. das Hexaëder vor, zu welchem die Achtecke gehören, es ist also das Hexaëder die Grundform und die Abänderungsflächen gehören zu einem Octaëder; in dem anderen Beispiele kann sowohl das Hexaëder als das Octaëder als Grundform betrachtet werden.

Die Abänderungsflächen bilden an der Grundform entweder *Abstumpfungen* oder *Zuschärfungen* oder *Zuspitzungen*. Ist an der Stelle einer Kante der Grundform *eine* Fläche vorhanden, die mit beiden Flächen der früheren Kante parallele Kanten bildet, so nennt man (nach *Werner*) die Kante *abgestumpft*. Ist die Abstumpfungsfläche gegen beide Flächen der abgestumpften Kante gleich geneigt, so ist sie *gerade*; ist sie aber ungleich geneigt, so *schief*. Eben so wie eine Kante, kann auch eine Ecke abgestumpft sein, und auch hier heißt die Abstumpfungsfläche *gerade* oder *schief*, je nachdem sie mit den Flächen der Ecke gleiche oder ungleiche Neigung hat. Treten an die Stelle einer Kante *zwei* neue *gleichförmige* Flächen, so heißt die Kante *zugeschärft*. Statt der einen Kante der Grundform finden sich dann 3 Kanten. Die mittlere dieser 3 Kanten heißt die *Zuschärfungskante*, und die beiden Abänderungsflächen werden *Zuschärfungsflächen* genannt. Eine Ecke heißt *zugeschärft*, wenn statt derselben zwei Flächen auftreten. Es ist dies bei vierkantigen Ecken bisweilen der Fall. Auch hier unterscheidet man *gerade* oder *schief aufgesetzte* Zuschär-

fungen. Tritt an die Stelle einer Ecke eine stumpfere, so nennt man sie zugespitzt. Die neue Ecke hat entweder eben so viel, oder halb so viel oder noch einmal so viel Flächen als die ursprüngliche, und auch hier wird zwischen gerade oder schief aufgesetzten Zuschärfungsflächen unterschieden.

Sowohl bei einfachen als zusammengesetzten Krystallgestalten tritt oft der Fall ein, daß mehrere Flächen alle einer und derselben Linie parallel laufen, und wenn sie sich schneiden, Kanten bilden, welche eben derselben Linie parallel sind, z. B. die 4 Seitenflächen des Hexaëders, oder sich auch nur berühren, z. B. bei dem Dodecaëder, oder sogar durch zwischenliegende Flächen ganz außer Verbindung stehen. Diese Flächen liegen um die Linie herum, mit welcher sie parallel laufen, entweder einen zusammenhängenden, oder unterbrochenen Gürtel bildend. Man nennt die zu einem solchen Gürtel gehörigen Flächen eine Zone, und die Linie, mit welcher der Parallelismus stattfindet, die Zonenaxe. Hat man die Flächen einer Zone ermittelt, so erleichtert man sich dadurch die Bestimmung der Parameter wesentlich. Es würde uns hier ein tieferes Eingehen zu weit führen; wir verweisen daher nochmals auf die bereits angeführten Werke von G. Rose und Pfaff. In Hinsicht auf die Nomenclatur der Krystallgestalten und der Krystallsysteme ist zu vergl. Synonymik der Krystallographie von Kenngott. Wien 1855.

Der im Vorstehenden eingeschlagene Weg, die verschiedenen Krystallgestalten zu classificiren und die zusammengesetzten Formen auf die einfachen zurückzuführen, ist nicht der einzig mögliche. Hauy *), Gründer der wissenschaftlichen Krystallographie, während Werner **) nur die sogenannte empirische oder naturhistorische Kennzeichenlehre, die sich mit der Unterscheidung der äußerlich leicht erkennbaren Merkmale der Mineralkörper beschäftigt, zu einem verhältnißmäßig hohen Grade von Vollkommenheit ausbildete, stellte zuerst das Ebenmaßgesetz auf, welches sich so ausdrücken läßt:

Alle identischen Theile des Urparallelepipedums müssen beim Werden anderer Krystallgestalten zugleich und auf einerlei Weise dieselben Aenderungen erleiden.

Da die drei Dimensionen des Körpers nämlich am einfachsten am rechtwinkeligen Parallelepipedum, d. h. an dem von 6 parallelogrammatischen Flächen begrenzten Körper mit 12 Kanten und 8 Ecken, ausgedrückt werden, so lag der Gedanke nahe, alle Krystallformen aus dieser Einen Urform abzuleiten, als entstanden durch Wegnahme von Ecken und Kanten nach einem allgemein gültigen Gesetze, und dies ist eben das Ebenmaßgesetz.

Sind bei dem rechtwinkeligen Parallelepipedum die drei Dimensionen gleich, so ist es ein Hexaëder (Würfel), sind nur 2 gleich, so ist es eine gerade quadratische Säule, und sind alle 3 Dimensionen ungleich, so ist es eine gerade rectanguläre Säule.

Erleidet nun z. B. ein Würfel eine Enteckung, so müssen nach dem Eben-

*) Traité de Minéralogie. 4 Vol. Paris 1801; 2. édit. 1822. — Deutsche Uebersetzung: Lehrbuch der Mineralogie von Hauy, übersetzt von Karsten und Weiß, Paris und Leipzig. 4 Bände. 1804—1810.
**) Von den äußerlichen Kennzeichen der Fossilien. Leipzig 1774.

maßgesetze alle Ecken abgestumpft erscheinen, da sie alle unter sich gleich und ähnlich sind; denken wir uns an dem Quadratoctaëder eine Veränderung auftretend, so erscheint diese an den beiden Scheiteln als gerade Endfläche, weil beide Scheitel unter einander gleich sind, oder an den vier Randkanten als vierseitiges Prisma Nr. 1., oder an den vier Randecken als vierseitiges Prisma Nr. 2., weil die vier Randkanten und eben so die vier Randecken unter sich gleich sind; eben so können bei dem Rhomboëder nur beide Scheitel eine Veränderung zugleich erfahren, oder alle Randecken zugleich.

Die Grundformen gewinnt man aus dem Stammparallelopipedum durch besondere Schnitte. Nehmen wir einen Würfel und stumpfen die Ecken ab, so muß dies nach dem Ebenmaßgesetze an allen 8 Ecken geschehen, überdies muß die Abstumpfungsfläche gegen die drei Flächen der Würfelecke gleich geneigt sein, da diese Flächen unter sich gleich sind; setzen wir nun die Abstumpfung der Ecken fort, bis die Würfelflächen verschwinden, so erhalten wir das regelmäßige Octaëder. Führen wir in gleicher Weise Schnitte, durch welche die Kanten des Würfels abgestumpft werden, so gewinnen wir schließlich das Dodecaëder. Eben so gewinnt man die übrigen Formen des regulären Krystallisationssystems durch Schnitte unmittelbar aus dem Würfel oder mittelbar aus dem Octaëder oder Dodecaëder.

Eben so wie bei dem regulären Krystallisationssysteme ist es bei den übrigen. Gehen wir von der geraden quadratischen Säule aus, so darf nach dem Ebenmaßgesetze bei Abstumpfung einer Ecke die Abstumpfungsfläche nicht gegen alle drei ursprünglichen Flächen der Ecke gleich geneigt sein, weil diese nicht gleich sind, sondern diese Gleichheit der Neigung muß nur in Bezug auf die zwei gleichen Seitenflächen stattfinden, gegen die Endfläche hingegen muß die Neigung gemäß der Höhe der Säule verschieden sein. Durch Abstumpfung der Ecken bis zum Verschwinden der ursprünglichen Flächen, entsteht so das Quadratoctaëder. Das Abstumpfen Einer Randkante erfordert die Abstumpfung aller Randkanten, aber nicht der Seitenkanten, und eben so das Wegnehmen einer Seitenkante die Wegnahme aller Seitenkanten, aber nicht die der Randkanten. Stumpft man die Randkanten bis zum Verschwinden der ursprünglichen Flächen ab, so erhält man ebenfalls ein Quadratoctaëder, so daß wir hierin den oben aufgestellten Unterschied in Quadratoctaëder erster und zweiter Ordnung wiederum begründet finden. Eben so giebt die Abstumpfung der Seitenkanten bis zum Verschwinden der ursprünglichen Seitenflächen ein neues vierseitiges Prisma, während, falls die Abstumpfung nicht so weit getrieben wird, ein achtseitiges Prisma gewonnen wird.

Legen wir die gerade rectanguläre Säule zu Grunde, so muß bei einer Abstumpfung der Ecken, da die drei Hauptdimensionen verschieden sind, also je zwei sich schneidende Flächen nicht gleich sind, die Abstumpfungsfläche gegen jede der drei ursprünglichen Flächen verschieden geneigt sein, eben so muß bei der Abstumpfung der Kanten die Abstumpfungsfläche gegen jede von ihr geschnittene ursprüngliche Fläche eine andere Neigung haben. Setzt man die Schnitte, durch welche die Ecken abgestumpft werden, so weit fort, bis die ursprünglichen Flächen verschwinden, so erhält man das Rhombenoctaëder; in gleicher Weise durch das Abstumpfen der Seitenkanten die geschobenen vierseitige Prismen.

Wenn die gerade rectanguläre Säule ein solches Verhältniß ihrer Länge zu ihrer Breite hat, daß bei Abstumpfung der Seitenkanten bis zum Verschwinden der ursprünglichen Seitenflächen nach dem Ebenmaßgesetze eine rhombische Säule mit Winkeln von 120° und 60° entsteht, und die scharfen Seitenkanten nicht ausgebildet, sondern statt derselben noch Reste der Stammflächen vorhanden sind, die den neuen Flächen gleich sind, so erhält man das sechsseitige Prisma des drei- und einaxigen Krystallisationssystems. Aus diesem Prisma gewinnt man dann die übrigen Formen dieses Systems.

Es mögen diese Ableitungen genügen, um das Ebenmaßgesetz zu veranschaulichen. Doch muß noch erwähnt werden, daß dies Gesetz nicht ausreichend ist, in sofern Krystallgestalten vorkommen, bei deren Bildung dasselbe sogar verletzt erscheint, indem man z. B. bei Rhomboëdern bisweilen nur einen Scheitel abgestumpft sieht. Zu Erklärung dieser Gestalten nimmt man das sogenannte Gesetz der Krystallisations-Polarität zu Hülfe. Es tritt hierbei eine doppelte Abweichung des Ebenmaßgesetzes auf:

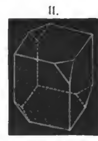
1) Gewisse Theile eines rechtwinkeligen Parallelopipedums, welche einander diametral entgegenstehen, daher gleich sind, verhalten sich dennoch, in Absicht einer oder der andern der möglichen Abänderungen, die sie erleiden können, als verschiedene, während dieselben, einander diagonal gegenüberliegenden Theile als gleichartige sich darthun. — Um dies näher zu erläutern, verweisen wir auf beistehende Fig. I. und bemerken, daß z. B. die Ecken b und e, eben so die Kanten a b und e f einander diametral gegenüberliegen, hingegen die Ecken b und f, eben so die Kanten a b und c d diagonal.

I.



2) Oder umgekehrt, die diametral entgegenstehenden Theile ähnlicher Art verhalten sich als gleiche, indessen die diagonal sich gegenüberliegenden verschiedenartige Abänderungen erleiden. Es tritt z. B. an einem Würfel eine Abstumpfung der Ecken ein, wie sie in Fig. II. zur Anschauung gebracht wird; eine Abstumpfung, welche bis zum Verschwinden der ursprünglichen Flächen des Würfels fortgesetzt das Hemi-Octaëder (Tetraëder) als Resultat giebt. Auch das Hemi-Tetrakisheraëder und die übrigen hemiedrischen Formen werden mittelst des Polarisationsgesetzes aus den Kernformen abgeleitet *).

II.



Die individualisirende Gestaltung der Krystalle ist nicht blos äußerlich, sondern geht auch in das Innere. Sehr viele Krystalle lassen sich nämlich in Richtungen (Ebenen) einer oder der anderen ihrer äußeren Flächen parallel bis zu den dünnsten Blättchen spalten, haben also einen bestimmten Blätterdurchgang, ein regelmäßiges Gefüge. In jeder anderen Richtung setzen sie einer trennenden Kraft größeren Widerstand entgegen, und wird diese mit Gewalt

*) Der Name Gesetz der Krystallisations-Polarität rührt davon her, daß diese Verletzung des Ebenmaßgesetzes sich zum Theil bei Krystallen zeigt, welche (z. B. Turmalin) durch Erwärmung polarisch-elektrisch werden.

überwunden, so entstehen nicht wie bei dem Schnitt in der Richtung des Blätterdurchgangs ebene, sondern unregelmäßige Bruchflächen. Diese Regelmäßigkeit eines bestimmten Gefüges zeigt sich nicht allein bei Krystallen, sondern auch bei anderen äußerlich nicht regelmäßig begrenzten Fossilien. Man nennt diese krystallinisch-blätterige Mineralien.

Nicht nur parallel mit Einer seiner Flächen hat ein Krystall Durchgänge, sondern zuweilen parallel mit allen seinen Flächen, zuweilen auch nur mit einigen derselben. Man unterscheidet Hauptdurchgänge, welche stets die deutlichsten sind, und Nebendurchgänge, welche mehr zufällig erscheinen. Je größer die Mannichfaltigkeit verschiedenartiger Krystallflächen an einem Mineralkörper ist, desto größer ist auch die Anzahl der verschiedenartigen Durchgänge. Die Durchgänge scheinen bei allen Krystallen vorhanden zu sein; bei einigen läßt sich aber die Spaltung nach den Durchgängen mechanisch (mit Messer, Meisel, Amboß, Hammer rc.) leichter ausführen, als bei anderen. Einige Krystalle werden leichter spaltbar, wenn man sie glüht und dann in Wasser schnell ablöscht. Bei noch anderen kann man die Spaltung zwar nicht ausführen, aber das Vorhandensein der Durchgänge läßt sich aus der Reflexion von Lichtstrahlen wahrnehmen.

Durch künstliches Spalten nach den Durchgängen erhält man die regelmäßigen von Ebenen begrenzten Körper, welche man Kernformen nennt, und von denen man dann die äußeren (verschiedenen) Gestalten, in welchen eine Substanz krystallisirt erscheint, ableitet.

Es war Haüy *), welcher die Idee zuerst ausführte, alle Formen, welche eine Mineralsubstanz annehmen kann, auf eine und dieselbe primitive Form zurückzuführen und umgekehrt die Krystallgestalt aus Molekülen, die er integrirende nennt, aufzubauen oder als durch Aneinanderlegung derselben wachsend darzustellen. Er reicht hierbei aus mit drei Formen der integrirenden Moleküle, nämlich mit dem Tetraëder (die allereinfachste Pyramide), dem dreiseitigen Prisma (das einfachste unter allen Prismen) und dem Parallelopipedon (das einfachste geometrische Körper). Wegen der näheren Ausführung dieser Idee müssen wir indessen hier auf das Werk Haüy's selbst verweisen.

Haüy fand viele ausgezeichnete Anhänger. Unter den Deutschen erwarb sich besondere Verdienste Weiß **), der zuerst die zusammengehörigen Krystallgestalten in Krystallisationssysteme zusammenstellte.

Wenn man drei sich gegenseitig halbirende Linien im Raume annimmt, und zwischen ihren Schenkeln combinirt, so gelangt man auf eine höchst einfache Weise zu einem Aggregat von Complexionen, welche unter gewissen Bedingungen alle in der Natur vorkommende Krystallgestalten darstellen können. Die Verknüpfung und Zerlegung dieser Complexionen giebt über alle Verhältnisse der Gestalten als solcher genügende Auskunft, und es entspringt daraus eine eigenthümliche Art von schematischer Darstellung oder Rechnung, welche von allen bestimmten Größenverhältnissen der Elemente unabhängig ist, und blos die Art der Gestalt (ob sie z. B. ein Prisma, ein Rhomboëder rc. ist) und die Verhältnisse der Ableitung und des

---

*) A. a. O. Deutsche Uebersetzung. Bd. I. S. 70 ff.

**) Dynamische Ansicht der Krystallisation, als Anhang in der deutschen Uebersetzung von Haüy's Lehrbuch der Mineralogie. Bd. I. S. 365 ff.

Zusammenhanges verschiedener Gestalten betrifft. Diesen Weg, die Krystallgestalten zu bestimmen, hat J. G. Graßmann *) mit Glück eingeschlagen. Nahe verwandt hiermit sind die Arbeiten von F. E. Neumann **), ohne daß der Eine die Arbeiten des Anderen kannte. Ferner ist Mohs ***) zu nennen, der von einer Grundgestalt für jede Krystallreihe ausgeht und von dieser die verschiedenen Gestalten jeder Reihe ableitet. In dem Sinne von Mohs arbeitete Hausmann ****). Besondere Verdienste erwarben sich überdies noch in der Krystallographie C. Naumann *****), besonders durch die Bezeichnungsweise jeder Krystallfläche durch 3 Coordinatenaxen, Breithaupt †) namentlich durch genauere Bestimmungen der ursprünglichen Maße bei den Krystallreihen vieler Substanzen, G. Rose u. A. Neuerdings ist eine bedeutende Arbeit erschienen von Rammelsberg ††), durch welche das gesammte Material für die Kenntniß der Krystallformen chemischer Verbindungen möglichst vollständig zur Anschauung gebracht wird.

Haben wir im Obigen die Krystallgestalten als isolirte, vollständig ausgebildete und symmetrische Individuen aufgefaßt, so sind wir eigentlich von der Wirklichkeit abgewichen. Vollkommen symmetrisch gebildete Krystalle in der beschriebenen Form kommen in der Wirklichkeit höchst selten, vielleicht gar nicht vor, und sind daher nur als Ideale der Krystallbildung anzusehen. Sowohl die natürlich vorkommenden Substanzen (Mineralien), als auch die künstlich dargestellten können nur in Gedanken dadurch auf symmetrische Formen zurückgeführt werden, daß man sich ihre Flächen beweglich denkt, und dieselben in paralleler Richtung einander nähert oder von einander entfernt. Rammelsberg sagt hierüber, daß die Unsymmetrie der Krystalle oder die Verzerrung der ursprünglich symmetrischen Form eine Folge ist von der veränderten Centraldistanz einer oder mehrerer Flächen, d. h. der mit Beibehaltung der Richtung erfolgten Annäherung oder Entfernung der Fläche vom Mittelpunkte des symmetrisch gedachten Krystalls.

So findet man z. B., wenn man Substanzen, welche im regulären Octaëder krystallisiren (Alaun, Magneteisen), näher untersucht, fast immer, daß das Octaëder verzerrt ist, daß die Flächen Dreiecke, Vierecke, Fünfecke oder Sechsecke bilden, Formen, welche immer entstehen, wenn man das ideale Octaëder parallel einer Fläche durchschneidet. Eben so findet man kaum jemals einen Würfel, dessen Flächen wirkliche Quadrate, ein Dodecaëder, wo sie wirklich Rhomben wären, ein Quadratoctaëder, dessen Basis in der That ein Quadrat bildete. Deshalb hat die Gestalt der Flächen nur untergeordneten Werth, und alle Bestimmungen an Krystallen gehen von ihrer Richtung, d. h. ihrer gegenseitigen

*) Zur physischen Krystallonomie und geometrischen Combinationslehre. Stettin 1829. Vergl. auch Pogg. Ann. 1833. Ergänzungsb. S. 1—43.

**) Beiträge zur Krystallonomie von Neumann.

***) Grundriß der Mineralogie. 2 Bd. Dresden 1822 u. 1824.

****) Untersuchungen über die Formen der leblosen Natur von J. F. L. Hausmann. Göttingen 1821.

*****) Grundriß der Krystallographie. Leipzig 1826.

†) Handbuch der Mineralogie von Hoffmann, fortgesetzt von Breithaupt. 4 Bd. Freiberg 1811—1818.

††) Handbuch der krystallographischen Chemie. Berlin 1855.

Lage aus, weil diese Richtung, welche sich in den Kantenwinkeln darstellt, eine constante Größe ist.

Wir haben bereits im Anfange dieses Artikels gesehen, daß ein Krystall sich der Symmetrie oder dem allseitigen Gleichgewichte seiner krystallographisch gleichwerthigen Flächen, mithin dem Ideale der Vollkommenheit, um so mehr nähert, je langsamer und ruhiger er sich bildet. Da man annehmen darf, sagt Rammelsberg, daß die chemischen Verbindungen des Mineralreichs sehr lange Zeiträume zu ihrer Bildung bedurften, so ist es auch begreiflich, daß die Krystalle dort im Allgemeinen symmetrischer erscheinen, ja nicht selten der vollkommenen Symmetrie sehr nahe kommen. Anders ist es bei der willkürlich hervorgerufenen Krystallisation der Körper in unseren Laboratorien, welche in kurzer Zeit, innerhalb weniger Stunden oder Tage, vor sich zu gehen pflegt. Haben sich einmal Krystalle, oft unabsichtlich und durch Zufall, innerhalb einiger Monate oder Jahre gebildet, so sind sie meist von besonderer Größe, Schönheit und Symmetrie. Die meisten künstlichen Krystalle aber tragen durch ihre Unsymmetrie ihre gleichsam übereilte Bildung zur Schau, und die Art der Verzerrung ihrer symmetrischen Formen wechselt oft mit der Natur, Concentration und Temperatur des Lösungsmittels.

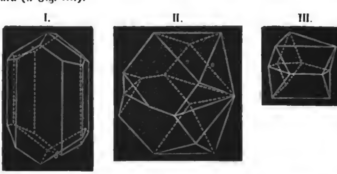
Dieser Umstand trägt nicht wenig dazu bei, das Erkennen der Krystallform an künstlichen Verbindungen häufig zu erschweren, und dann führt erst eine wiederholte Untersuchung und Messung an verschiedenen Krystallen zur Kenntniß des Systems, dem sie angehören.

Ein vollkommener Krystall vermag sich nur da auszubilden, wo freier Raum ist, oder wo eine leicht nachgebende Substanz die freie Ausbildung nicht hinderte. Unter solchen Umständen bilden sich ringsum mit Flächen umgrenzte Krystalle; das umgebende Mittel kann nachher auch erstarren, und so bilden sich eingewachsene Krystalle, die in dem Mittel, wie in einer hohlen Form sich befinden. Ist ein eingewachsener Krystall von einer durchsichtigen Substanz umgeben, so nennt man ihn eingeschlossen. Zuweilen erscheinen die Kanten und Ecken eines Krystalls wie geschmolzen; durch solche Abstumpfungen entstehen dann sogenannte linsen-, kugel- und kegelförmige Krystalle. Findet der Krystall bei seiner Bildung nach einer Seite hin Widerstand, so erscheint er dann aufgewachsen. So können sich Krystalle derselben Gattung und verschiedener Gattung zu einem regelmäßigen Ganzen verbinden. Die Krystalle haben sich zuweilen gegenseitig in der freien Ausbildung nach verschiedenen Richtungen gehindert, und so entstehen Gruppirungen von Krystallen, die pyramidal, treppenförmig, büschel-, garben-, sternförmig &c. sein können.

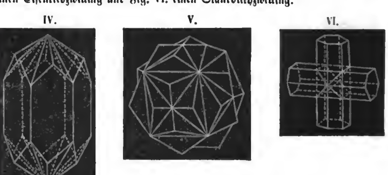
Außer den durch das Polarisationsgesetz bedingten Ausnahmen von dem Ebenmaßgesetze kommen noch andere Ausnahmen vor, welche durchaus unregelmäßig erscheinen. Zuweilen fehlt eine Fläche, welche man dem Ebenmaßgesetze gemäß erwarten sollte, zuweilen findet sich eine Fläche zuviel. Daß einzelne Flächen, oder mehrere gleichartige, zuweilen so ausgedehnt sind, daß andere Flächen ganz oder großentheils verdrängt werden, ist bereits vorher angedeutet.

Oft sind Krystalle durch das Neben- oder Aneinander- und Zusammen-Gewachsensein zweier Krystalle entstanden, von denen der eine gerade die umgekehrte Lage des anderen hat, so daß die Verbindung beider das Ansehen gewinnt,

als ob sie aus zwei Hälften eines und desselben Krystalles beständen, in umgekehrter Lage an einander gefügt. Man nennt solche Krystalle **hemitropische** (v. d. griech. ἡμι, halb und τρέπειν, wenden). So findet man Hemitropien von Augit (s. Fig. I.); Hornblende, Gypsspath, Feldspath, Zinnerz (s. Fig. II.); Spinell (s. Fig. III.).



Andererseits finden sich Doppel-Krystalle, bei denen ein Krystall den anderen zu durchdringen scheint und wobei Kanten oder Ecken eines jeden derselben aus den Flächen des anderen hervorragen. Beide Krystalle sind von derselben Form und Größe, so daß der eine mit dem anderen bei der Betrachtung vertauscht werden kann. Diese Doppel-Krystalle werden **Zwillinge** genannt, oder als **Durchwachsungen** bezeichnet. So stellt Fig. IV. einen Quarzzwilling vor, Fig. V. einen Eisenkieszwilling und Fig. VI. einen Staurolithzwilling.





Kommen geregelte Aneinanderfügungen von mehr als zwei Krystallen einer Varietät vor, so erhält man **Drillinge**, **Vierlinge** x. Fig. VII. ist der Horizontaldurchschnitt eines Bleispathdrillings.

Erfahren die Krystalle bei ihrer Bildung Störungen, so erleiden sie demgemäß vielfache Modificationen in ihrem Gefüge sowohl, als in ihrer äußeren Gestalt; dasselbe ist der Fall in Bezug auf das Gefüge krystallinischer Massen.

Aus geradblättrigem Gefüge wird so krummblättriges, aus großblättrigem kleinblättriges, körniges, schuppiges, schaumiges. Sind Krystalle überwiegend nach Einer Richtung ausgedehnt, so entstehen haarförmige und nadelförmige Gestalten. Krystallinische Massen erscheinen strahlig, faserig, gestrickt rc. Die Oberfläche der Krystalle ist in der Regel glatt und eben; durch Störungen bei der Bildung können sie aber auch gestreift, drusig (mit kleinen krystallinischen Erhabenheiten), uneben (rauh oder körnig) erscheinen.

Wird einem Stoffe einer seiner chemischen Bestandtheile entzogen oder tritt ein neuer hinzu, so entstehen Umbildungen der Krystallform, wenn der neu entstandene Stoff nicht seine ihm natürliche Krystallform annimmt, sondern die des zerstörten Stoffes beibehält. Man nennt solche Bildungen Pseudomorphosen (unächte Gestaltungen) oder nachgebildete Krystalle *).

Befand sich ein Krystall in einer Umhüllung (als eingewachsen), und wird derselbe daraus durch irgend einen Umstand entfernt, so bleibt die leere Form zurück, in welche dann eine neue Substanz eintreten (Einfüllung) und in der Form erstarren kann. So entstehen feste äußerlich krystallinisch gestaltete Massen ohne krystallinisches Gefüge, oder mit einem Gefüge, welches der äußeren Form nicht entspricht. Man nennt solche Gestalten Afterkrystalle oder Pseudokrystalle. So findet man Manganerz, Rotheisenstein u. s. f. in Formen, welche vorher von Kalkspathkrystallen eingenommen worden waren. Endlich können Afterkrystalle noch durch Umhüllung entstehen, wenn sich ein neuer Stoff um Krystalle rindenartig anlegt, ohne daß eine Formänderung stattfindet. So setzt sich z. B. Calcedon über Quarz, Hornstein über Kalkspath rc. an.

Von der allgemeinen Regel, daß alle Krystalle desselben Stoffes von Einer gemeinschaftlichen Grundform abgeleitet werden können, giebt es mannichfache Abweichungen. Vielmehr zeigen einige Stoffe Krystallgestalten, welche verschiedenen Systemen angehören, oder doch von so großen Winkelverschiedenheiten sind, daß sie nicht von Einer Grundform abgeleitet werden können. Muß man daher bei einer Substanz zwei Grundformen annehmen, so nennt man sie dimorph (zweigestaltig), muß man deren drei annehmen, trimorph (dreigestaltig). Wir verweisen auf die besonderen Art.: Dimorph Bd. II. S. 531 und Trimorph.

Dem Dimorphismus und Trimorphismus entgegen steht der Isomorphismus. Isomorphe (gleichgestaltete) Stoffe nennt man diejenigen, welche für sich Krystallgestalten von keiner oder geringer Winkelverschiedenheit zeigen und welche in gleichem Verhältnisse mit denselben anderen Stoffen verbunden, dieselben oder sehr ähnliche Krystallgestalten geben. Auch hierüber handelt ein eigener Art.: Isomorphismus.

Zu den uneigentlichen Krystallen gehören endlich noch die künstlich gearbeiteten Nachbildungen, Modelle der verschiedenen Krystallformen in Holz, Thon, Seife rc., deren man sich mit großem Vortheile bedient, um an denselben die Lehre von den Krystallen zu demonstriren. Man hat solche Modelle von Holz, mit den erforderlichen Schnitten versehen, welche aus einander genommen und zusammengesetzt werden können. Um sich mit Leichtigkeit die Entstehung einer

*) Vergl. Art. Geologie. Bd. III. S. 530.

Krystallform aus der anderen, ihre Ableitung, zu versinnlichen, bedient man sich am passendsten geschmeidiger Stoffe (auch feinen Thones); man schneidet erst die Grundgestalt, und bringt dann vorsichtig an ihr die gehörigen Schnitte an, so daß man die abgeleitete Form erhält. Zur Untersuchung der mathematischen Verhältnisse sind Modelle aus Draht äußerst zweckmäßig, bei denen die Endpunkte der Drahtstäbchen die Ecken und durch diese Enden gezogene Fäden die Kanten geben. Auch kann man sich die Grundformen aus Holzstäbchen construiren, welche, in aufgequollene Erbsen gesteckt, die Kanten vorstellen. Durch an den betreffenden Stellen befestigte Fäden erhält man dann die Axen und anderen Linien, z. B. die durch Schnittflächen entstehenden Kanten.

Zusammenstellung a) der Mineralien und b) künstlichen Verbindungen oder Elemente nach den Krystallisationssystemen *).

I. 1. a. Reguläres System:

a) Arsenikblüthe; Alaun; Analcim; Automolith; Amalgam; Borazit; Bleiglanz; Buntkupfererz; Chlorsilber; Chromeisenerz; Diamant; Eisen; Flußspath; Franklinit; Fahlerz; Granat; Gold; Glanzkobalt; Hauyn; Helvin; Iserin; Kieselwismuth; Kupfer; Kobaltkies; Leucit; Magneteisenerz; Merkur; Manganblende; Nickelglanz; Platin; Pyrit; Rothkupfererz; Salmiak; Steinsalz; Sodalith; Schwefelkies; Spinell; Silber; Silberglanz; Speißkobalt; Würfelerz; Zinkblende.

b) Phosphor; Kalium; Natrium; Magnesium; Titan; Cadmium; Blei; Palladium; Iridium; Kalium-, Ammonium-, Zinn-, Cadmium- und Silber-Amalgam; Goldsilber; Iridiumplatin; Nickeloxydul; Antimonoxyd; Kupferoxydul; Schwefelkupfer; Kupferchlorür; Schwefelmangan; Schwefelantimon-Schwefelnatrium (Schlippe'sches Salz); Jod-, Brom- und Cyan-Ammonium; Chlor-, Brom-, Jod-, Fluor- und Cyankalium; Jod-, Brom- und Fluornatrium; Chlorlithion; Chloruran; Jodzink; Bromsilber; Cyanzink-, Cyankadmium-, Cyanquecksilber- und Cyansilber-Cyankalium; die Doppelsalze von Chlorammonium oder Chlorkalium mit Zinn-, Platin-, Palladium-, Iridium- oder Osmium-Chlorid nebst den entsprechenden Brom- und Jodverbindungen; Borarsaures-, Chlorsaures- und Bromsaures-Natron; Salpetersaurer Baryt und Strontian; Salpetersaures Bleioxyd; Chlorsaures Nickeloxydul und Kupferoxyd; Bromsaures Nickeloxydul und Zinkoxyd; Bromsaure Magnesia; Chromalaun; Kampfer; Essigsaures Uranoxyd-Natron.

I. 1. b. Zwei- und einaxiges System:

a) Anatas; Apophyllit; Blättertellur; Chlormercur; Fergusonit; Gehlenit; Gelbbleierz; Hausmannit; Kupferkies; Melilith; Rutil; Scheelbleierz; Scheelit; Skapolith; Uranglimmer; Vesuvian; Zinnerz; Zirkon.

b) Strontianhydrat; Barythydrat; Zweifach Schwefel-Wismuth; Drittel-Arsenikniekel (kryst. Kobaltspeise); Calomel; rothes Quecksilberjodid, Kupferchlorid-Chlorkalium und Chlorammonium, Phosphorsaures Kali und Ammonium-

*) Eine tabellarische Uebersicht des Krystallsystems der einfachen Stoffe und ihrer Verbindungen nach der Zusammensetzung enthält: Handbuch der krystallographischen Chemie von Rammelsberg. Berlin 1855. Vergl. auch Kopp's Krystallographie. Braunschweig.

oxyd; Arsensaures Kali und Ammoniumoxyd; Schwefelsaures Nickeloxydul und Silberoxyd-Ammoniak; Selensaures Nickeloxydul, Zinkoxyd und Silberoxyd-Ammoniak; Chromsaures Silberoxyd-Ammoniak; Paraflsat-Ammon. Aus den organischen Verbindungen: Quecksilbercyanid; Ferrocyankalium (Blutlaugensalz); Ferrocyanammonium; Honigsteinsaure Thonerde; Ameisensaurer Strontian; Essigsaure Kupferoxyd-Kalkerde, Essigsaures Uranoxyd-Kali; Essigsaures Uranoxyd-Silberoxyd, Hämatoxylin.

I. 1. c.

a) Alakamit; Aragonit; Anhydrit; Anthophyllit, Andalusit; Amblygonit; Allanit; Antimonoxyd; Antimonglanz; Antimonsilber; Arseneisen; Arsenkies; Auripigment; Bittersalz; Bleisulphat; Bleicarbonat; Baryt; Brauneisenerz; Bournonit; Cölestin; Chiastolith; Chrysoberyll; Chrysolith; Cordierit; Desmin; Euchroit; Harmotom (?); Hypersthen (?); Jamesonit; Kalisalpeter; Kalisulphat; Kryolith; Kupferglanz; Libethenit; Lirokonit; Lazulith; Liävolt; Mascagnin; Melanglanz; Markasit; Manganit; Nadelerz; Natrolith; Olivenit; Polyhalit; Prehnit; Phillipsit; Petalit (?); Polymignit; Pyrolusit; Skorodit; Strontianit; Spodumen; Saussurit (?); Staurolith; Schrifterz; Schilfglaserz; Schwefel; Thermonatrit; Topas; Tantalit; Witherit; Wawellit; Wismuthglanz; Zinksilicat.

b) Schwefel aus Auflösungen; Jod; Bleioxyd; Quecksilberjodid; Quecksilberchlorid (Sublimat); Chlorbaryum; wasserhaltiges Brombaryum; selensaures Kali, Natron und Silberoxyd; selensaure Magnesia; chromsaures Kali; chromsaure Magnesia; mangansaures Kali; übermangansaurer Baryt; übermangansaures Kali und Ammoniumoxyd; schwefelsaures Ammoniumoxyd, Silberoxyd und Nickeloxydul (Nickelvitriol); salpetersaures Ammoniumoxyd, Uranoxyd und Silberoxyd; unterschwefelsaurer Baryt; zweifachkohlensaures Ammoniumoxyd; überchlorsaures Kali und Ammoniumoxyd; phosphorsaures Natron; arsenicksaures Natron u. a. Aus den organischen Verbindungen: Citronsäure; zweifach äpfelsaures Ammoniumoxyd; zweifach äpfelsaurer Kalk; ameisensaurer Baryt; oxalsaures Ammoniumoxyd; zweifach oxalsaures Ammoniumoxyd, Weinstein, zweifach weinsaures Ammoniumoxyd; Seignettsalz; weinsaures Natron-Ammoniumoxyd; Brechweinstein u. a.

I. 2. d. Zwei- und eingliederiges System.

a) Amphibol; Antimonblende; Augit; Brewsterit; Bronzit; Chondrodit; Columbit; Datholith; Eisenvitriol; Epidot; Euklas; Feldspath; Gadolinit; Gaylussit; Glauberit; Glaubersalz; Gyps; Kaliglimmer; Kieselmangan (?); Kobaltblüthe; Kobaltvitriol; Kupferlasur; Laumontit; Leadhillit; Malachit; Miargyrit; Natron; Orthoklas; Phosphorchalcit; Pyroxen; Rothbleierz; Realgar; Skolezit; Stilbit; Sanidin; Sphen; Tinkal; Trona; Vivianit; Wolfram.

b) Schwefel (geschmolzen und abgekühlt); Eisenchlorür; wasserhaltiges Chlornatrium; Brom- und Jodnatrium; Chlorlithium; zweifach kohlensaures Kali und Ammoniumoxyd; kohlensaures Kali; kohlensaure Magnesia; zweifach kohlensaures Ammoniumoxyd; chlorsaures Kali; chlorsaurer Baryt; phosphorsaures Ammoniumoxyd, Natron, Natron-Kali und Natron-Ammoniumoxyd; arsenicksaures Ammoniumoxyd, Natron, Natron-Kali und Natron-Ammoniumoxyd; zweifach-schwefelsaures Kali; chromsaures Natron; schwefelsaures Cadmiumoxyd, Kupferoxyd und Nickeloxydul; alle Doppelsalze aus neutralem schwefelsauren Salze von

Magnesia, Manganoxydul, Zinkoxyd, Cadmiumoxyd, Eisenoxydul, Kobaltoxydul, Nickeloxydul, Kupferoxyd mit schwefelsaurem Kali oder Ammoniumoxyd und 6 Atomen Wasser; unterschwefligsaures Natron, salpetersaurer Strontian. Aus den organischen Verbindungen: Oxalsäure; Weinsäure; essigsaures Natron und Zinkoxyd; Grünspan; Bleizucker; essigsaurer Baryt; ameisensaures Kupferoxyd und Cadmiumoxyd; die oxalsauren Doppelsalze von Eisenoxyd, Chromoxyd, oder Thonerde und Kali oder Ammoniumoxyd; neutrales weinsaures Kali und Ammoniumoxyd; Ferrid-Cyankalium und Cyanammonium; Kalium-Kobaltcyanid, Mangancyanid und Chromcyanid, Zucker (Rohr- und Rübenzucker); Taurin, Asparagin u. a.

I. 2. e. Ein- und eingliederiges System.

a) Albit; Anorthit; Arinit; Babingtonit; Disthen (?); Kupfervitriol; Labrador; Lithionglimmer (?); Pyrallolith; Sassolin; Schillerspath; Wollastonit (?).

b) Selensaures Kupferoxyd; schwefelsaures Manganoxydul; zweifach chromsaures Kali und Silberoxyd. Aus den organischen Verbindungen: Traubensäure; Gallussäure; bernsteinsaures Natron; vierfach oxalsaures Kali und das entsprechende Ammoniumoxydsalz.

II. f. Drei- und einaxiges System.

a) Alunit; Antimon; Apatit; Arsen; Beryll; Bleiniere; Braunspath; Chabasit; Cerit; Chloramelan; Dioptas; Eis; Eisenspath; Eugenglanz; Galmei; Gmelinit; Graphit; Kalkspath; Korund; Kupferglimmer; Manganspath; Magnesiaglimmer; Mimetesit; Magnetkies; Molybdänglanz; Natronsalpeter; Nephelin; Phakolith; Pyromorphit; Phmakit; Quarz; Rotheisenerz; Rothnickelkies; Rothzinkerz; Silberblende; Talk; Talkspath; Tellur; Tellurwismuth; Turmalin; Titaneisenerz; Wismuth; Zinnober.

b) Zink; Osmium-Iridium; Zinkoxyd; Bleisuperoxyd; Chromoxyd; Magnesiahydrat; die Verbindungen von Platinchlorid mit Chlormagnesium, Mangan, Zink, Eisen, Kupfer, Nickel oder Kobalt; Platinbromid-Bromzink; salpetersaures Natron; schwefelsaures Natron-Lithion; unterschwefelsaurer Strontian und Kalk; unterschwefelsaures Bleioxyd, arsenifsaures Bleioxyd, arsenifsaurer Kalk; phosphorsaures Bleioxyd; Chlor- und Fluorblei; Chlorcalcium. Aus den organischen Verbindungen: Ferrocyanammonium-Chlorammonium und Bromammonium; Ferrocyankalium-Baryum; die Verbindungen von Traubenzucker (Stärke- oder Harnzucker) mit Chlornatrium, Aldehyd-Ammoniak. H. C.

Krystallelektricität, s. Thermoelektricität.

Krystallographie, s. Krystall.

Küstenklima, s. Klima.

Kupfer *), cuprum, aes cyprium, cuivre, copper, ein Metall. Chemisches Zeichen Cu. Aequivalent = 395,6 (O = 100) oder 31,7 (H = 1).

*) Von den älteren Arbeiten über das Kupfer und seine Verbindungen sind besonders zu erwähnen die von Proust: Ann. de Chim. T. XXXII. p. 26. Journ. de Phys. T. LIII. p. 89. T. LIX. p. 393. T. LXXIX. p. 126. Crell's chem. Ann. 1800. Bd. I. S. 39. Scherer's Journ. Bd. IX. S. 388. Gilb. Ann. Bd. XXV. S. 164. Gehler's n. Journ. 1805. Bd. VI. S. 552.

Das Kupfer gehört zu den am längsten bekannten Metallen. Im Alterthum wurde es fast allein von der Insel Cypern (Κυπρος) bezogen *) und daher stammt auch der lateinische Name. Weil diese Insel der Venus geheiligt war, belegten die Alchemisten in ihrer bilderreichen Sprache das Metall mit diesem Namen. — Nach dem Eisen ist das Kupfer das nützlichste und in der Natur verbreitetste Metall. Es findet sich gediegen und zwar häufig in Gesellschaft anderer Kupfererze, meist derb, dendritisch in Verästelungen oder eingesprengt in flachen Blättern, bisweilen auch in deutlich ausgebildeten Krystallen (Octaëdern). Gediegen Kupfer kommt namentlich in Schweden, Sibirien und Nordamerika vor; selten jedoch in größeren Massen. Am oberen See jedoch scheinen solche bis zu 100,1000,1500, ja selbst 2000 Pfund nicht zu den Seltenheiten zu gehören **). In der cliffe mine am Eagle-River hat man sogar einen Block von 1000 Centnern Gewicht gefunden ***). Auch in Ungarn bei Recsk fand man in neuester Zeit einen 30 Pfd. schweren Klumpen gediegenen Kupfers ****). In den Minen von Coquimbo kommen nach Field *****) Legirungen von Kupfer und Silber vor mit einem Gehalt von 1,09 und 7,60 Proc. Silber. Weit häufiger aber kommt das Kupfer in Verbindung mit Sauerstoff und Schwefel oder anderen Schwefelmetallen vor. Aus diesen Verbindungen wird auch das Kupfer dargestellt. Die wichtigsten Kupfererze sind:

	Chemische Formel:	Gehalt an Cu in 100 Th.
1) Kupferglanz (Kupferglaserz)	$Cu^2 S$.	79,7.
2) Kupferkies	$Cu^2 S, Fe^2 S^3$.	34,8.
3) Buntkupfererz	$3 Cu^2 S, Fe^2 S^3$.	55,7 — 70 und mehr, wenn Kupferglanz beigemengt ist.
4) Enargit	$3 (Cu^2 S, FS, ZnS) + (AsS^5, SOS^5)$.	14 — 41.
5) Fahlerz	$4 (Cu^2 S, FeS, ZnS, AgS), (SbS^3, As^2 S^3)$.	47,2 †).
6) Rothkupfererz	$Cu^2 O$.	88,5.
7) Malachit	$2 CuO, CO^2 + HO$.	57,4.
8) Kupferlasur	$2 (CuO, CO^2) + CuO, HO$.	55,3.

Noch haben wir hier den Kupferschiefer oder bituminösen Mergelschiefer anzuführen, der namentlich in der Grafschaft Mansfeld ††), in Thüringen und Kurhessen auftritt und hier Gelegenheit zu einem einträglichen Bergbau giebt. Der Hauptsache nach tritt hier Eisen und Kupfer auf; das letztere in den verschiedenartigsten Verbindungen und nebenbei auch noch Silber, Zink, Kobalt,

---

*) Plinius XXXIV. 20, XXXVI. 26.

**) Gilbert's Ann. Bd. LXX. S. 337. Silliman, Americ. Journ. [2] Vol. III. p. 2. Vol. IV. p. 115. Compt. rend. T. XXVIII. p. 161.

***) Silliman, Americ. Journ. [2] Vol. VII. p. 286.

****) Haidinger's Ber. über die Mitth. von Freund. d. Naturw. Bd. VI. S. 149. Jahrb. d. k. k. österr. geolog. Reichsanst. 1850. S. 145

*****) Quart. Journ. of the chemic. soc. Vol. III. p. 29.

†) Kommt namentlich in der Grube San-Francisco bei Morococho auf den Cordilleren vor und wird in großen Quantitäten auf Kupfer verhüttet. Pogg. Ann. Bd. LXXX. S. 383.

††) Freiesleben, geognostischer Beitrag zur Kenntniß des Kupferschiefer-Gebirges. 4 Bände. Freiberg 1807—18.

Nickel, Blei und Wismuth. 48 Centner der Mansfelder Schiefer liefern 70 bis 220 Pfd. Kupfer und der Centner Kupfer enthält 6 bis 24 Loth Silber.

Außerdem kommen noch zahlreiche andere Verbindungen des Kupfers mit Selen, Chlor, Schwefel-, Phosphor-, Arsen-, Chrom- und Kieselsäure, jedoch nur in untergeordneten Mengen vor. Silber, Gold, Platin und Eisen finden sich stets in geringen Mengen im Kupfer, wie dies der Herzog von Leuchtenberg in dem Niederschlage, der sich bei der Zersetzung der Kupfersalze durch den galvanischen Strom an der Anode absetzt, nachgewiesen hat *). In 100 Th. desselben waren: 90,2 Silber, 4,8 Gold und 2 2 Platin enthalten. Später hat derselbe auch noch Blei, Nickel, Kobalt und Vanadin darin gefunden **).

Die Verbreitung des Kupfers in der Natur geht noch weiter. Man hat nachgewiesen, daß das Kupfer in kleinen Mengen in manchen Bodenarten, Mineralquellen, im Meerwasser, ja auch in Pflanzen ***) und Thieren vorkomme. In Bezug auf letztere ist es mit Sicherheit nur für das Blut der niederen festgestellt ****), das, in Folge des Kupfergehaltes, an der Luft blau wird. Entweder fehlt hier das Eisen ganz oder das Kupfer steht zu dem Eisen im umgekehrten Verhältniß. Das Vorkommen von Kupfer in den Organen und dem Blute der höheren Thiere und des Menschen ist vielfach behauptet, aber auch vielfach bestritten worden *****). Durch die Einwirkung der Luft verwandelt sich das in der Natur vorkommende Schwefelkupfer in schwefelsaures Kupferoxyd, das von dem Grubenwasser aufgelöst und fortgeführt wird. Solche Grubenwässer neunt man Cementwässer.

Der Hüttenmann theilt die Kupfererze in zwei Klassen: ockrige (oxydische) und kiesige (geschwefelte). Je nachdem man mit der einen oder der anderen Abtheilung zu thun hat, ist auch die Methode, nach der das Kupfer im Großen gewonnen wird, eine verschiedene. Bei den oxydirten Erzen ist die Operation eine leichtere; sie kommen jedoch nur an wenigen Orten in großer Menge vor und werden daher hauptsächlich nur zu Chessy bei Lyon und auf einigen russischen Hüttenwerken verarbeitet. Durch einfache Reduction mit Kohle gewinnt man hier das Kupfer (Schwarzkupfer), das jedoch noch geringe Mengen Kohle, Schwefel, Eisen und andere Beimengungen enthält, von denen es durch den Gahrproceß (Gahrmachen) befreit wird. Zu diesem Ende wird es in einer Art von Flammofen, der einem Treibherde gleicht, geschmolzen, wobei die fremden Beimengungen durch einen Luftstrom oxydirt und abgeschieden werden. Hierbei verwandeln sich aber geringe Mengen von Kupfer in Oxydul, durch welches die Geschmeidigkeit

*) Petersb. acad. Bull. T. VI. p. 129. Dingler's polyt. Journ. Bd. CVI. S. 35.

**) Petersb. acad. Bull. T. VII. p. 218. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXI. S. 136. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLV. S. 460.

***) Liebig's Jahresb. 1847 — 48. S. 1013. Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXVIII. p. 129. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLIX. S. 421. Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 448.

****) Müller's Arch. 1847. Nr. 2. S. 48. Pharm. Centralbl. 1847. S. 489. Ann. d. Chem. und Pharm. Bd LXXXI. S. 68.

*****) Liebig's Jahresb. 1847 — 48. S. 874. Journ. de Chim. méd. [3] T. V. p. 179. Burin du Buisson, sur l'existence du manganèse dans le sang humain. Lyon 1852. Liebig's Jahresb. 1852. S. 702. Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXXV. S. 140 und 257. Bd. LXXVI. S. 1.

und Festigkeit des Metalles bedeutend beeinträchtigt wird. Deshalb wird das Gahrkupfer (herdgahres Kupfer, Rosettekupfer) noch einmal umgeschmolzen (hammergahr gemacht), wobei sich das Kupferoxydul reducirt und ein schmiedbares (hammergahres) Kupfer resultirt.

Viel umständlicher ist die Darstellung des Kupfers aus den häufigeren Schwefelverbindungen. Der Proceß ist hier eine oft wiederholte Oxydations- und Reductionsarbeit. Zuerst röstet man die Erze wiederholt, um die flüchtigen Bestandtheile (Schwefel, Arsenik, Antimon) zu entfernen und das Eisen theilweise zu oxydiren. Dann werden die Erze mit geeigneten Zuschlägen zur Entfernung des Eisens geschmolzen (Rohsteinschmelzen), wobei man als Product den Stein, Rohstein oder Kupferstein erhält, eine Verbindung von Schwefelkupfer mit Schwefeleisen und anderen Schwefelmetallen. Der Kupfergehalt beträgt hier ungefähr 8 bis 12 Proc. Der Stein wird nun wiederum mehrmals geröstet und verschmolzen. Bei jeder Röstung oxydiren sich die Beimengungen leichter als das Kupfer und bei jeder Schmelzung (Reduction) mit Kohle wird eine größere Menge des Kupfers reducirt. War das Rösten des Rohsteins hinreichend ausgeführt, so erhält man beim Schmelzen neben dem Dünnstein, der sehr reich an Schwefelkupfer ist, schon Schwarzkupfer, das bis 96 Proc. Kupfer enthält; im entgegengesetzten Fall fällt letzterer hier noch nicht, sondern nur der Spürstein oder Concentrationsstein, ein nur wenig veränderter Rohstein, der erst nach neuem Rösten und Schmelzen Schwarzkupfer liefert. Das Schwarzkupfer wird endlich, wie schon angegeben, herd- und hammergahr gemacht.

Kommt in den Kupfererzen Silber vor, so wird mit dem Schwarzkupfer eine neue Operation, das Saigern vorgenommen, d. h. dem Kupfer das Silber durch Blei entzogen. Bei dem Kupfer (den Kienstöcken) bleibt aber noch Blei zurück, das durch abermaliges Absaigern bei Luftzutritt größtentheils entfernt wird. Der Rückstand (die Darrlinge) wird zuletzt gahr gemacht. Ueber die Gewinnung des Silbers aus den Kupfererzen siehe in dem Art. Silber.

An einigen Orten gewinnt man auch Kupfer aus den Cementwässern, indem man in solche metallisches Eisen hineinlegt, wodurch das Kupfer niedergeschlagen wird. Auf der Insel Anglesea und zu Schmölnitz in Ungarn werden auf diese Weise große Mengen von Kupfer (Cementkupfer) gewonnen. — Aus der Auflösung des Kupfervitriols schlägt sich mitunter auch metallisches Kupfer in großen zusammenhängenden Massen nieder, ohne daß Eisen zugegen ist *).

Da schon geringe Beimengungen von fremden Substanzen die Eigenschaften des Kupfers bedeutend verändern, ja für manche Zwecke ganz unbrauchbar machen, so verwendet man auf die Entfernung derselben große Sorgfalt, so daß namentlich das Kupferblech hinreichend rein ist zu der Darstellung der verschiedenen Präparate. Das russische Kupfer wird als das reinste angesehen. In wie weit bei der Darstellung des Kupfers im Großen die Reinheit erreicht wird, lehren die nachstehenden Analysen:

---

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. XVI. S. 261. Pogg. Ann. Bd. III. S. 195. Schweigger's neues Journal. Bd. XVI. S. 372. Bd. XVII. S. 325. Bd. XXVIII. S. 40.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	
Kupfer	99,56	99,84	99,60	98,65	98,25	99,31	98,73.
Blei	—	—	Spur	0,75	1,09	0,21	0,74.
Silber	0,30	Spur	Spur	0,23	0,13	0,10	0,06.
Nickel	—	—	—	—	0,23	0,28	Spur.
Eisen	0,10	0,05	0,02	0,05	0,13	0,02	0,07.
Aluminium	—	—	0,09	0,02	0,05	—	—
Calcium	—	0,06	—	0,09 }	0,10	0,04	0,09.
Magnesium	—	—	—	0,03 }			
Kalium	—	—	—	0,12	—	0,04	0,17.
Kiesel	—	—	—	0,05	—	—	—
Schlacke	—	—	0,03	—	—	—	—

I. Gediegen Kupfer von Brasilien nach Marchand und Scheerer, enthielt noch 0,08 Gold; II. Cementkupfer von Stadt Berge, nach Bromeis; III. Norwegisches Blockkupfer, nach Gerth, enthielt noch 0,27 Zinn; IV. Schwedisches Scheibenkupfer, nach v. Kobell; V. Mansfelder Gahrkupfer, nach v. Kobell; VI. Gahrkupfer von der Friedrichshütte bei Riechelsdorf, nach Gerth; VII. Japanisches Kupfer, d. h. englisches, das für die Ausfuhr nach Ostindien bestimmt ist, nach Gerth, enthielt noch 0,14 Kobalt und Spuren von Nickel und Arsen.

Chemisch reines Kupfer stellt man am Besten aus reinem Kupferoxyd dar, das man bei geringer Hitze in einem Strom von Wasserstoffgas reducirt und darin erkalten läßt. Oder indem man sich aus reinem Kupfervitriol das kohlensaure Salz darstellt und dieses durch Harz und Kohlenstaub oder gleichfalls durch Wasserstoffgas reducirt. Das auf galvanischem Wege niedergeschlagene Kupfer ist gleichfalls rein; hier kann man es auch in zusammenhängenden Stücken erhalten. Nach Osann *) wird das durch Reduction mittelst Wasserstoffgas erhaltene fein zertheilte Kupfer durch Pressen so dicht, als ob es gehämmert wäre. Nach der Erfindung der Galvanoplastik gab diese Eigenschaft Osann Gelegenheit aus solchem fein zertheilten Kupfer gleichfalls Medaillen und ähnliche Gegenstände durch Druck herzustellen. Wenn Osann auch verschiedene Vorzüge aufzählt, welche dieses Verfahren vor der eigentlichen Galvanoplastik haben soll, so wird doch die Anwendung desselben immer eine beschränkte bleiben; zumal die gewöhnliche Prägung vorzuziehen ist, da die geschlagenen Stücke mit vollem Metallglanz aus dem Prägstock hervorgehen. — Das durch Wasserstoffgas reducirte und feinzertheilte Kupfer ist außerordentlich elektrisch; in Chlorgas entzündet es sich schon bei gewöhnlicher Temperatur und verbrennt mit weißer Flamme.

Das Kupfer zeichnet sich unter den Metallen durch seine Farbe aus, nur das Titan ist ihm darin ähnlich. Die dunkele Farbe, die man an verarbeitetem Kupfer wahrnimmt, rührt jedoch von einem Ueberzuge von Kupferoxydul her. Die eigentliche Farbe des Kupfers ist sehr hell, wie sie das durch Wasserstoffgas reducirte Kupfer zeigt. Bemerkenswerth ist noch der starke Glanz und der Klang, den das Kupfer besitzt. Es krystallisirt in Würfeln und Octaëdern. Spec. Gewicht, je nach der Reinheit des Kupfers verschieden, 8,66 bis 8,78, des gewalzten oder

*) Pogg. Ann. Bd. LII. S. 406.

geschmiedeten 8,87 bis 8,95. An Geschmeidigkeit und Dehnbarkeit übertrifft es das Eisen, an Zähigkeit steht es diesem wenig nach; aber auch diese Eigenschaften hängen sehr von der Reinheit des Kupfers ab. Guyton de Morveau giebt an, daß ein Kupferdraht von 0,887 Par. Linien bei einer Belastung von 280,7 Pfund riß. Die Festigkeit hängt zwar auch hier, wie bei allen Metallen von der Temperatur ab, jedoch ändert sie sich weniger rasch wie die Temperatur *). Das Kupfer besitzt die Eigenschaft sich schweißen zu lassen. Es ist ein sehr guter Leiter der Wärme und Elektricität **). Beim Erwärmen von 0° bis 100° dehnt es sich um $^1/_{550}$ aus. Sein Schmelzpunkt liegt zwischen dem des Silbers und des Goldes, nach Daniell bei 1092°, nach Plattner bei 1173° C. Spec. Wärme = 0,9515. Vor dem Knallgasgebläse verflüchtigt sich das Kupfer und verbrennt mit grüner Farbe.

Außer zu Platten für den Kupferstich wird das Kupfer zu den verschiedensten Geräthen verarbeitet. Man bedient sich deren auch in der Küche, doch ist hier große Vorsicht anzurathen. Das Kupfer zeigt zwar eine geringe Neigung sich mit dem Sauerstoff zu verbinden, aber in feuchter, kohlensäurehaltiger Luft oxydirt es sich doch. Nur zu oft nehmen wir an kupfernen Geräthen einen grünlichen Ueberzug wahr, den man im gewöhnlichen Leben fälschlich Grünspan nennt. Es ist dies kohlensaures Kupferoxydhydrat. Der grüne Beschlag ist besonders der Gesundheit schädlich, weil er sich sehr leicht in Säuren und selbst in Fett auflöst. Daher muß man bei dem Gebrauch solcher Geräthe stets darauf achten, daß die Oberfläche durchaus blank ist. Dann kann man ohne Furcht saure Speisen in kupfernen Kesseln kochen; durch die schwachen Säuren, die man gewöhnlich in der Küche verwendet, wird oxydfreies Kupfer nicht aufgelöst, so lange, während des Kochens, der Wasserdampf den Zutritt der Luft abhält. Aber erkalten darf man die Speisen in kupfernen Geräthen nicht lassen, weil dann eine Vergiftung eintreten kann. Solche erkennt man sehr leicht durch eine polirte Messerklinge, die man in die verdächtige Speise stellt; ist Kupfer zugegen, so schlägt es sich metallisch auf die Messerklinge nieder und man erblickt darauf einen glänzend-rothen Ueberzug.

Um sich vor Vergiftungen zu sichern, überzieht man die Oberfläche kupferner Geräthe mit einer dünnen Lage Zinn. Zu diesem Ende muß die Oberfläche vollständig durch Scheuern mit Schwefelsäure und Sand von allem Oxyd befreit werden, dann wird das Geräth erhitzt und man zerreibt geschmolzenes Zinn mit einem Wergpausch über die ganze Oberfläche, nachdem man etwas Salmiakpulver oder Kolophonium aufgestreut hat. Vor dem Kupfer ist man freilich dadurch geschützt, aber das Zinn selbst ist nicht ganz unverdächtig und zwar findet in Folge der Berührung mit Kupfer hier eine raschere Abnutzung (Auflösung) des Zinns statt, als es für sich allein erfährt.

Kupferoxyd bildet sich nur in starker Hitze (Kupferasche, Kupferhammerschlag), bei geringerer entsteht nur Oxydul, das der Einwirkung der Luft und der Feuchtigkeit besser widersteht, als das Kupfer selbst. Daher überzieht man gewisse Gegenstände auch mit diesem Ueberzuge, den man rothe Bronze nennt, entweder

*) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXX. p. 304.

**) Ueber den Magnetismus des Kupfers siehe Pogg. Ann. Bd. III. S. 343. Bd. VII. S. 205. 214. 215. Bd. LIV. S. 59. 326. 329. 332.

dadurch, daß man ihn mit einem Gemenge von Eisenoxyd und Wasser überstreicht, darauf erhitzt und dann reinigt oder daß man ihn mit einer sehr verdünnten Auflösung von 2 Th. Grünspan und 1 Th. Salmiak in Essig einige Minuten kocht.

Man bedient sich des Kupfers auch als Beschlag für die Schiffe *). Durch das Meerwasser wird es aber stark angegriffen. Als Schutzmittel dagegen schlug Davy vor, Eisen darauf anzubringen und dadurch das Kupfer — elektrisch zu machen. Das Uebel wurde auf diese Art zwar gehoben, aber ein anderes stellte sich ein. Es lagerten sich auf den Schiffsbeschlägen Massen von kohlensaurem Kalk und Magnesia ab und hierauf siedelten sich wieder Pflanzen und Thiere an, wodurch man genöthigt wurde, die eisernen Platten bedeutend zu verkleinern.

Zum Guß kann das Kupfer für sich allein nicht verwendet werden, weil es beim Schmelzen Sauerstoff absorbirt, wodurch beim Erkalten Blasen entstehen, indem der Sauerstoff erst kurz vorm Erstarren anfängt zu entweichen, so daß nach dem Erkalten selbst noch Gasblasen in dem Metall zurückbleiben. Dies ist auch die Ursache des sogenannten Spratzens bei der Darstellung des Kupfers im Großen. Der Sauerstoff entweicht hier unter Zischen mit solcher Heftigkeit, daß er Kupfertheilchen mit in die Höhe reißt und umherschleudert (Kupferregen, Kupferrauch, Spritzkupfer). Das plötzliche Entweichen der eingeschlossenen Luft ist gleichfalls die Ursache der heftigen Explosionen, die entstehen, wenn man lange Zeit hindurch geschmolzenes Kupfer in Wasser gießt oder mit Wasser begießt.

Das Wasser und auch säurehaltiges Wasser wird vom Kupfer selbst nicht in der Glühhitze zersetzt. Wasserstoffsäuren werden gleichfalls kaum zerlegt; anders aber ist es beim Zutritt der Luft. Concentrirte Schwefelsäure wirkt nur in der Hitze auf Kupfer ein unter Entstehung von schwefliger Säure. Das beste Lösungsmittel für Kupfer ist die Salpetersäure, welche dasselbe schon in der Kälte angreift.

Von den Verbindungen des Kupfers mit Sauerstoff kennen wir 4: Kupferoxydul, das Oxyd, das Superoxyd und die Kupfersäure.

Kupferoxydul Cu^2O findet sich in der Natur als Rothkupfererz in Octaëdern und Würfeln oder haarförmig als Kupferblüthe. Der Methoden, das Kupferoxydul darzustellen, giebt es mehrere. Man glüht ein Gemenge von Kupferfeilspänen oder fein vertheiltem Kupfer und Kupferoxyd oder schichtet statt dessen dünnes Kupferblech mit Kupferoxyd und glüht ($Cu + CuO = Cu^2O$). Kupferoxyd und Kohlenpulver, in dem Verhältniß von 4 Aequiv. zu 1 Aequiv. gemengt und bei abgehaltenem Luftzutritt scharf geglüht, wird nach Vogel jun. sehr vollständig zu Kupferoxydul reducirt ($4\,CuO + C = 2\,Cu^2O + CO^2$). Durch Traubenzucker wird das Kupferoxyd gleichfalls reducirt. Man versetzt eine Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd mit so viel Traubenzucker, daß Kalilauge, welche man alsdann hinzusetzt, keinen Niederschlag hervorbringt oder den anfangs entstandenen wieder verschwinden macht. In der Kälte scheidet sich das Oxydul nach längerer Zeit krystallinisch aus, beim Erwärmen aber tritt die Reaction sofort ein. Nach Becquerel kann man das Kupferoxydul in kleinen glänzenden Würfeln erhalten, wenn man in eine Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd etwas Kupferoxyd schüttet, dann einen Kupferstreifen hineinstellt und das Ganze luftdicht ver-

*) Pogg. Ann. Bd. III. S. 211. 217. 219. Bd. IV. S. 466.

schlossen längere Zeit ruhig stehen läßt. Solche Krystalle findet man bisweilen auf antiken Gegenständen, die lange Zeit in der Erde gelegen haben.

Die Farbe des Kupferoxydules ist ein schönes Roth, je reiner es ist, um so mehr nähert sie sich dem Karmin. In der Rothglühhitze schmilzt das Kupferoxydul, an der Luft verändert es sich nicht, durch Kohle und Wasserstoffgas wird es reducirt. Spec. Gewicht 5,06. In Ammoniak löst es sich farblos auf, die Lösung wird aber bei Luftzutritt sogleich blau gefärbt. In überschüssiger Salzsäure wird es ebenfalls gelöst (Kupferchlorür), durch Zusatz von überschüssigem Kalihydrat fällt Kupferoxydulhydrat, ein pomeranzengelbes Pulver, nieder, das sich aber sehr leicht an der Luft höher oxydirt. Durch verdünnte Säuren wird das Kupferoxydul in Oxyd und Oxydul zerlegt; als Oxydul verbindet es sich mit den meisten Säuren nur dann, wenn es im Entstehungsmoment mit ihnen zusammen kommt. Die Kupferoxydulsalze sind jedoch sehr wenig gekannt.

Das Kupferoxydul giebt ein sehr gutes Mittel ab den Traubenzucker von Rohrzucker zu unterscheiden, weil durch letzteren die Reduction des Oxydes nicht bewirkt wird, wenigstens nicht in der Kälte. Man bedient sich seiner ferner zum Bronziren und zum Färben des Glases. Letztere Farbe ist rubinroth und so intensiv, daß man das auf diese Weise gefärbte Glas nur als Ueberfangsglas verwendet.

Das Kupferoxyd CuO kommt in der Natur als Kupferschwärze, meist als Anflug auf Kupferkiesen vor. Sonst entsteht es, wenn Kupfer bei Luftzutritt geglüht wird, wobei es sich mit schwarzen Schuppen überzieht (Kupferasche oder Kupferhammerschlag). Meistens wird es dargestellt durch Glühen von Kupferoxydhydrat, kohlensaurem oder salpetersaurem Kupferoxyd. Krystallinisch in kleinen glänzenden Tetraëdern erhält man das Kupferoxyd nach Becquerel, wenn man 1 Th. desselben mit 4 bis 6 Th. Kalihydrat im Silbertiegel schmilzt und recht langsam erkalten läßt. Durch Wasser wird das Kali und das pulverförmige Oxyd fortgeschafft.

In Ammoniak löst sich das Kupferoxyd nicht auf, leicht aber in Fetten oder fetten Oelen, die schon durch das Verweilen in kupfernen Gefäßen grün gefärbt werden. Letztere dienen sogar die Gegenwart von Kupfer, z. B. in Branntwein, der aus einer kupfernen Blase abgezogen ist, zu erkennen. Das Kupferoxyd schmilzt in starker Hitze, verliert hierbei aber einen Theil seines Sauerstoffs. Spec. Gew. 6,09 bis 6,40. Ausgezeichnet ist das Kupferoxyd wegen der Leichtigkeit, mit der es reducirt wird, nicht allein durch Wasserstoffgas, sondern auch durch Kohlenwasserstoffe, Kohlenoxyd, Ammoniak, so wie durch alle organischen Verbindungen, weshalb man auch das Kupferoxyd bei der Elementaranalyse verwendet. Glas wird durch Kupferoxyd grün gefärbt.

Das Kupferoxyd ist eine starke Base. Bei Gegenwart von Wasser ist die Farbe der Kupferoxydsalze eine blaue oder grüne, während die wasserfreien Salze eine weiße, zum Theil auch eine braune Farbe besitzen. Tröpfelt man die Lösung eines Kupferoxydsalzes in kalte verdünnte kaustische Lauge, so bildet sich ein bläulich-grüner Niederschlag von Kupferoxydhydrat (CuO, HO), der in der Wärme aber sehr leicht das Wasser abgiebt und eine schwarze Farbe annimmt. Das einmal getrocknete Kupferoxydhydrat verträgt höhere Temperaturen, bevor es das Wasser fahren läßt. Durch Ammoniak oder kohlensaures Ammoniak im Ueberschuß werden die Kupferoxydsalzlösungen intensiv blau gefärbt. Dies ist eine der empfindlichsten Reactionen auf Kupfer. Durch kohlensaure Alkalien entsteht ein

blauer Niederschlag von kohlensaurem Kupferoxydhydrat, welches beim Kochen durch Wasserverlust schwarz-braun wird. Blutlaugensalz bewirkt einen sehr ausgezeichneten braunen Niederschlag oder bei zu großer Verdünnung, in der selbst Ammoniak keine Veränderung hervorruft, wenigstens eine rothe Färbung. Schwefelwasserstoff, selbst aus sehr sauren Auflösungen, und Schwefelammonium fällen schwarzbraunes Schwefelkupfer. Jodkalium erzeugt darin einen Niederschlag von Kupferjodür ($2\,(CuO, SO^3) + 2\,KJ = 2\,(KO, SO^3) + Cu^2\,J + J$, welches letztere sich in dem überschüssig zugesetzten Jodkalium auflöst). Viele organische Verbindungen bewirken eine Reduction der Oxydsalze zu Oxydulsalzen, jedoch selbst beim Kochen nur langsam und unvollständig, wenn die Lösungen neutral sind, weit schneller, wenn sie freies Alkali enthalten. Traubenzucker fällt unter diesen Umständen bereits in der Kälte alles Oxyd als Oxydul. Durch Weinsäure oder andere nicht flüchtige organische Verbindungen werden manche Reactionen der Kupferoxydsalze verdeckt, so z. B. die mit Kali. Blutlaugensalz und Schwefelwasserstoff versagen hier ihre Dienste nicht; am besten ist hier aber ein blankes Eisen, nur muß die Lösung schwach angesäuert werden. Auf diese Art wird noch 1 Theil Kupfer in 150000 Th. der Lösung angezeigt. Nur die weingeistige Lösung des salpetersauren Kupferoxydes und die wässerige Lösung desselben Salzes, sobald sie neutral ist oder Silber in geringen Mengen enthält, werden durch Eisen nicht gefällt. Zink, Kadmium, Zinn, Blei, Wismuth fällen ebenfalls das Kupfer metallisch, eben so Phosphor. Der Alkoholflamme geben die Kupfersalze eine blaue oder grüne Farbe. Glasflüsse werden dadurch blaugrün oder grün gefärbt, eben so die Phosphorsalz- oder Boraxperle in der äußeren Löthrohrflamme. Dieselbe Wirkung bringt auch das reine Oxyd hervor. Durch Zinn wird die Farbe der Perle zerstört; das Kupferoxyd wird reducirt und beim Erkalten nimmt die Perle eine rothe oder rothbraune Färbung an.

Die meisten Kupferoxydsalze sind löslich in Wasser. Sie wirken stark giftig. Die Wirkung wird zum Theil durch Zucker aufgehoben, besonders aber durch Eiweiß, das eine unlösliche Verbindung damit eingeht.

Von den Kupferoxydsalzen sind folgende die wichtigsten:

Schwefelsaures Kupferoxyd (blauer oder Kupfervitriol, Cyprvitriol, blauer Galitzenstein), $CuO, SO^3 + 5\,HO$. Man findet es in alten Grubenbauten auf der Holzzimmerung ausgewittert. Dargestellt wird es im Großen aus den Cementwässern einfach durch Abdampfen, aus dem Kupferstein (dem ersten Product des Kupferhüttenprocesses), dem Kupferglaserz und anderen natürlichen Schwefelverbindungen des Kupfers durch Rösten, Auslaugen und Eindampfen der Lauge, oder durch Auflösen von Kupfer, Kupferoxyd oder kohlensaurem Kupferoxyd in verdünnter Schwefelsäure. Außerdem resultirt der blaue Vitriol auch noch als Nebenproduct bei verschiedenen technischen Operationen; so beim Affiniren von guldischen Silbermünzen, beim Scheiden des Goldes vom Silber und Kupfer durch Kochen mit Schwefelsäure, wobei das Gold ungelöst zurückbleibt und das gelöste Silber durch metallisches Kupfer niedergeschlagen wird, ferner beim Weißsieden der Silbermünzen, auf denen durch Kochen mit Schwefelsäure eine feine Haut von reinem Silber erzeugt wird.

Der Kupfervitriol kommt in großen, lasurblauen, rhomboidalen (1 und 1gliederigen) Krystallen fast rein im Handel vor. Eine Beimengung von Eisenvitriol giebt sich schon durch eine mehr grünliche Färbung zu erkennen. Von dieser Ver-

unreinigung kann der blaue Vitriol leicht durch Umkrystallisiren gereinigt werden oder man oxydirt den Eisenvitriol auch durch Salpetersäure zu Oxyd und digerirt mit Kupferoxyd, um das Eisenoxyd zu fällen. Im Großen bewirkt man diese Reinigung am besten durch mäßiges Glühen, wodurch der Eisenvitriol in Oxyd verwandelt wird, während der Kupfervitriol sich nicht so leicht zersetzt. Beim Auflösen des letzteren in Wasser bleibt das unlösliche Eisenoxyd nicht zurück. Diese Reinigung wird aber selten ausgeführt, weil ein gemischter Vitriol, sogenannter Doppelvitriol, noch immer sehr gerne von den Färbern gekauft wird, obgleich sie sich dergleichen Mischungen sehr leicht, besser, weil stets in constanten Verhältnissen, und wohlfeiler selbst bereiten könnten.

Der Kupfervitriol zeigt, wie die übrigen löslichen Kupfersalze, eine saure Reaction. Er verwittert oberflächlich an der Luft. 4 At. Krystallwasser gehen bei 100° C. fort, das letzte Atom aber entweicht erst bei 200° C. Das wasserfreie schwefelsaure Kupferoxyd besitzt eine weiße Farbe und eine große Verwandtschaft zum Wasser, das es aus der Luft begierig anzieht. — Das schwefelsaure Kupferoxyd krystallisirt für sich nicht, wie die isomorphen schwefelsauren Salze von Eisen, Nickel, Zink und Magnesia mit 7 At. Wasser, sondern nur dann, wenn es mit diesen in beträchtlicher Menge vermischt wird, krystallisirt es mit ihnen in den verschiedensten Verhältnissen in der Form des Eisenvitriols mit 7 At. Wasser zusammen. Sobald aber die Menge des Kupfervitrioles überwiegt, resultirt seine Krystallform mit 5 At. HO, obgleich auch hierin verschiedene Mengen der anderen isomorphen Salze enthalten sein können.

Man benutzt den Kupfervitriol besonders in der Färberei zum Schwarzfärben von Tuch, Wollengarn, Filz, als Reservage in der kalten Küpe, zum Brüniren von Eisen, zum Färben des Goldes im Glühwachs der Goldarbeiter; große Mengen von Kupfervitriol werden zu galvanoplastischen Zwecken verwendet. Die Anstalt des Herrn v. Kreß in Offenbach a. M. verarbeitet jährlich allein über 200 Ctr. Als Arzneimittel wird der Kupfervitriol gleichfalls verwendet. Sodann wird er auch benutzt, um verschiedene grüne und blaue Anstrichfarben (Berggrün, Braunschweiger Grün, Mineralgrün, Bergblau rc.) daraus darzustellen. Elsner hat eine Darstellungsweise von sehr schönen grünen Kupferfarben bekannt gemacht *), die alle Beachtung verdient, da diese Farben eben so schön sind als die giftigen arsenigsauren Kupferverbindungen. Als Grundlage bei der Darstellung dienen Auflösungen von verschiedenen gelben Pflanzenpigmenten, die mit Kupfervitriollösung und dann mit Aetzkalilauge versetzt werden, bis die über dem Niederschlag stehende Flüssigkeit farblos erscheint. Je nach der Natur des Pflanzenfarbstoffes erhält man verschiedene Nüancen. So liefern z. B. Wau und Curcume eine schön hellgrüne, Quercitron eine tief dunkelgrüne, Gelbholz eine dunkelgrüne, Fisetholz und Gutti eine bläulich-hellgrüne, Gelbbeeren (persische Beeren) eine herrlich dunkelgrüne, Orlem eine hellgrüne, Berberisholz eine schön dunkelgrüne Farbe. Auch aus dem gelbgefärbten Wasser der Flachsröste, das gewöhnlich als völlig nutzlos fortgegossen wird, läßt sich auf diese Art eine tief dunkelgrüne Farbe herstellen. Zu bemerken ist, daß der Ton der Farbe durch den Gerbstoff, der in den Lösungen verschiedener Pflanzen-Pigmente enthalten ist, beeinträchtigt wird und deshalb

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXV. S. 377.

durch Leimlösung entfernt werden muß. Diese Farben sind gegen Licht, Alkalien und Erden sehr beständig und werden wegen ihrer Wohlfeilheit und Schönheit gewiß als Anstrich- und Tuschfarben in der Technik Beachtung finden. Setzt man der Kupfervitriollösung gleichzeitig Alaun zu und fällt dann mit kohlensaurem Natron, so lassen sich verschiedene Nüancen hervorbringen, welche fast alle ein tieferes Grün darstellen, als die verschiedenen Sorten des grünen Ultramarins, die man als Ersatzfarbe für die giftigen arsenikhaltigen Kupferfarben vorgeschlagen hat. Auf letztere Art lassen sich auch mit rothen Farbstoffen recht angenehme violette Lackfarben darstellen, die durch das Licht nichts an Reinheit und Zartheit einbüßen.

Salpetersaures Kupferoxyd. Aus der Auflösung des Kupfers in Salpetersäure erhält man zwei verschiedene Salze. Das eine schießt daraus in dunkelblauen prismatischen Krystallen an ($CuO, NO^5 + 3 HO$), das andere bei niederer Temperatur in hellblauen tafelförmigen Krystallen ($CuO, NO^5 + 6 HO$). Die Krystalle ziehen Feuchtigkeit aus der Luft an und sind auch in Alkohol löslich. Beim Erhitzen entweicht zuerst das Wasser, dann, bei nicht hoher Temperatur (66 bis 300° C.), ein Theil der Säure, so daß ein basisches Salz und bei weiterem Erhitzen zuletzt reines Oxyd zurückbleibt. Das salpetersaure Kupferoxyd wird als Bronzirflüssigkeit, zur Darstellung von Bergblau und in der Kattundruckerei bei Tafelfarben verwendet.

Die Verbindungen des Kupferoxydes mit den verschiedenen Säuren des Chlors, das bromsaure, jodsaure, borsaure und chromsaure Kupferoxyd führen wir nur dem Namen nach an.

Kohlensaures Kupferoxyd. Das neutrale Salz ist nicht bekannt. In der Natur kommen vor: der Kupferlasur ($2 (CuO, CO^2) + CuO, HO$) und der Malachit ($CuO, CO^2 + CuO, HO$). Der erstere zeichnet sich aus durch die schöne blaue Farbe seiner Krystalle, welche das bekannte Bergblau liefern. Künstlich hat man diese Farbe nicht so schön herstellen können; die Nachahmungen (Bremerblau, Mineralblau) werden mit der Zeit grünlich. Der Malachit liefert das Berggrün, das auch künstlich dargestellt wird. Der Malachit wird auch zu Zierrathen verarbeitet. — Fällt man die Auflösung eines Kupferoxydsalzes in gelinder Wärme durch kohlensaures Alkali, so erhält man einen grünen, krystallinisch-körnigen Niederschlag von der Zusammensetzung des Malachit. In der Kälte dagegen erhält man einen voluminösen, blauen Niederschlag, der ein Aequiv. HO mehr enthält, der sich im feuchten Zustande leicht in die grüne Verbindung umändert, während er nach dem Trocknen das eine Aequiv. HO erst bei 110° C. verliert. Kocht man frisch gefälltes kohlensaures Kupferoxyd in der Flüssigkeit, so bleibt zuletzt fast reines Oxyd zurück. Die dem Malachit entsprechende Verbindung kommt als Braunschweiger Grün — eine Nachahmung des Berggrün — in den Handel. Sie enthält noch Magnesia und Thonerde, wodurch ihre große Lockerheit bedingt wird.

Phosphorsaures Kupferoxyd kommt in der Natur in einer Reihe von Mineralien vor: Phosphorochalcit ($PO^5, 3 CuO + 3 CuO, HO$), Ehlit ($PO^5, 3 CuO + 2 CuO, HO$), Trombolith ($PO^5, 3 CuO + 6 HO$), Libethonit ($PO^5, 3 CuO + CuO, HO$). Künstlich dargestellt bildet es einen blaugrünen Niederschlag.

Arsenigsaures und arsensaures Kupferoxyd bilden ersteres einen gelbgrünen, letzteres einen bläulichgrünen Niederschlag. Das letztere kommt auch in der

Natur vor und bisweilen ist darin ein Theil der Arsensäure (AsO^5) durch Phosphorsäure (PO^5) vertreten. (Olivenit (AsO^5, PO^5), 3 CuO + CuO, HO. Erinit AsO^5, 3 CuO + 2 CuO, HO. Kupferschaum (5 CuO, As + 10 HO) + CuO, CO^2.) — Als kieselsaure Verbindungen finden wir in der Natur den Kieselmalachit (3 CuO, 2 SiO^3 + 6 HO) und den sehr seltenen Kupfersmaragd (Dioptas) (3 CuO, 2 SiO^3 + 3 HO). Auf den Zusatz einer Lösung von kieselsaurem Kali zu einer Kupferoxydsalzlösung erhält man einen grünlich-blauen Niederschlag.

Von den zahlreichen Verbindungen des Kupferoxydes mit organischen Säuren besprechen wir nur das essigsaure Kupferoxyd. Mit der Essigsäure verbindet sich das Kupferoxyd in verschiedenen Verhältnissen. Diese Salze sind namentlich von Berzelius näher untersucht worden. Den Ausgangspunkt für die verschiedenen Verbindungen liefert der im Handel vorkommende Grünspan (Aurago, Viridis aeris), der ein Gemenge von mehreren basischen Salzen ist. Bereitet wird er in den Weinländern, indem man saure Weintrestern mit dünnen Kupferplatten schichtet und das Ganze mit einer Grünspanlösung befeuchtet. Nach einiger Zeit haben sich die Platten mit Grünspan bedeckt, der dann abgeschabt wird. Neutralisirt man den Grünspan mit Essigsäure, so erhält man das einfach essigsaure Kupferoxyd (CuO, $C^4 H^3 O^3$) oder destillirten Grünspan. Es krystallisirt in bläulich-grünen Säulen, welche zum 2- und 1gliederigen System gehören. Behandelt man den Grünspan mit Wasser, so gewinnt man daraus zwei Verbindungen: drittelessigsaures Kupferoxyd (3 CuO, $C^4 H^3 O^3$) und zwei drittelessigsaures Kupferoxyd (3 CuO, 2 $C^4 H^3 O^3$). Läßt man eine Lösung des einfach essigsauren Kupferoxydes auf Kupferplatten mehrere Monate hindurch wirken, so erhält man den blauen Grünspan (2 CuO, $C^4 H^3 O^3$).

Der Grünspan wird als Malerfarbe und zur Darstellung des Schweinfurter Grüns verwendet, welche prachtvolle grüne Farbe unter wenigstens 35 verschiedenen Namen im Handel vorkommt. Nach einigen wurde sie von Rusz und Sattler in Schweinfurt 1814 erfunden, nach anderen *) soll sie jedoch schon vorher von Wien aus unter dem Namen Wiener- oder Witisgrün verkauft worden sein. Lange Zeit war ihre Bereitung ein Geheimniß, das jedoch von Liebig und Braconnot entschleiert wurde. Ehrmann lehrte ihre quantitative Zusammensetzung kennen: $\overline{A}c$, CuO + 3 (AsO^3, CuO), so daß sie in 100 Th. 31,29 CuO, 58,65 AsO^3 und 10,06 $\overline{A}$ enthält. Die Bereitungsweise ist folgende: man vermischt gesondert bereitete und siedende Auflösungen von gleichen Theilen arseniger Säure und neutralem essigsauren Kupferoxyd; läßt man den flockigen Niederschlag mit der freie Essigsäure enthaltenden Flüssigkeit in Berührung stehen, so verwandelt er sich in wenigen Stunden in eine krystallinische körnige Masse von intensiv grüner Farbe, indem aus dem arsenigsauren Kupferoxyd ein Theil der Säure sich gegen Essigsäure austauscht, also eine Doppelverbindung entsteht. Außer dieser Vorschrift giebt es noch verschiedene andere, nach denen in den Fabriken gearbeitet wird **). Die krystallinische Beschaffenheit verleiht der Farbe ein höheres Feuer;

---

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. LX. S. 452 und Bd. LII. S. 271.

**) Prechtl's technol. Encyklopädie. Bd. IX. S. 30. Buchner's Repertorium. Bd. XIII. S. 469. Ann. d. Pharm. Bd. XII. S. 92. Kastner's Archiv. Bd. XVII. S. 285.

sie deckt aber weniger, deshalb verwendet man sie auch als feines Pulver. Für den Handel mischt man sie gewöhnlich mit Gyps, Schwerspath oder schwefelsaurem Bleioxyd in den verschiedensten Verhältnissen; man verdünnt sie also gleichsam und daher kommen auch die verschiedenen Namen, welche diese Farbe führt.

Es ist keinem Zweifel unterworfen, daß diese Verbindung, wenn sie in den Körper gelangt, giftig wirkt und deshalb muß man bei der Verwendung derselben große Vorsicht beobachten. Ein Anderes ist es aber, ob der Kreuzzug, den man gegen die Verwendung dieser Farbe bei der Dekoration der Zimmer predigt und die in Folge dessen erlassenen Verbote gerechtfertigt sind. Seitdem man die äußerst gefährlichen Wirkungen der flüchtigen arsenhaltigen Verbindungen (Arsenwasserstoff, Alkarsin) kennt, hat sich eine solche Furcht vor dieser grünen Farbe der Gemüther bemächtigt, daß man völlig unfähig ist, die Sache mit ruhigem Blute zu überlegen. Von dieser Gespensterfurcht befallen fragt man nicht, wie diese Verbindungen hier entstehen können; es ist völlig gleichgültig, daß sie noch niemals in der Luft solcher Zimmer nachgewiesen sind und die Stimme der Wenigen, die nicht von diesem Alp befallen sind *), verhallt im Winde. Vor allen Dingen käme es den Anklägern doch zu, triftige Beweise für ihre Anschuldigung beizubringen; aber daran denkt Niemand. Wie man hier argumentirt, sieht man am deutlichsten aus einer kleinen Schrift von Kleist **). Es ist nicht ein verständiger Chemiker, der hier spricht, sondern der unfehlbare, absolutistische Beamte, der jeden Widerspruch für strafbar hält, weil das Ministerium die Verwendung dieser Farben verboten hat.

Kupfersuperoxyd CuO^2 entsteht nach Thénard durch die Einwirkung von höchst verdünntem Wasserstoffsuperoxyd auf feuchtes Kupferoxydhydrat bei 0° C. und Kupfersäure (Kupfersesquioxyd $Cu^2 O^3$) durch die Einwirkung von Chlorgas auf Kupferoxydhydrat, das in Kalilauge suspendirt ist ***).

Von den Verbindungen des Kupfers mit den nicht metallischen Elementen führen wir die mit Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenstoff und Phosphor nur dem Namen nach an. — Bringt man Kupfer in dünnen Blechstreifen in Schwefeldampf, so geht die chemische Vereinigung beider zu Halbschwefelkupfer (Kupfersulphuret, $Cu^2 S$) unter lebhaftem Erglühen des Kupfers vor sich. Dieselbe Verbindung entsteht, wenn man 4 Th. höchst feinzertheiltes Kupfer mit 1 Th. Schwefel innig zusammenreibt; auch hierbei ist die Erhitzung oft so stark, daß eine Entzündung eintritt. Das Halbschwefelkupfer findet sich noch in der Natur als Kupferglanz krystallisirt in sechsseitigen Prismen; mit Schwefeleisen bildet es das Buntkupfererz und dann kommt es auch in den Fahlerzen vor, in denen es theilweise auch durch Schwefelsilber vertreten wird. Dieser Umstand deutet auf eine Isomorphie beider Verbindungen, die aber an den in der Natur vorkommenden Schwefelverbindungen des Kupfers und Silbers nicht auftritt, da deren Krystalle zwei verschiedenen Systemen angehören. Künstlich aber, bei der Darstellung des Schwefelkupfers im Großen, erhält man Krystalle, welche dem regulären System angehören, also die

*) Deutsche Klinik 1852. Nr. 43.

**) Betrachtungen über die schädlichen Wirkungen arsenikhaltiger Farben auf den menschlichen Organismus und in sanitätspolizeilicher Beziehung überhaupt.

***) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 445. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LV. S. 213. Pharm. Centralbl. 1845. S. 171.

Form des Schwefelsilbers besitzen. Die Farbe des Schwefelkupfers ist schwarzgrau; es schmilzt viel leichter als das Kupfer. Die Verbindung ist sehr beständig, während die dem Oxyd entsprechende (das einfach Schwefelkupfer, Kupfersulphuret CuS) beim Erhitzen Schwefel verliert. Sie entsteht durch Schwefelwasserstoff in einer Kupferoxydlösung. Sie findet sich auch in der Natur als Kupferindig.

Mit dem Chlor existiren gleichfalls zwei Verbindungen, die dem Oxydul (Kupferchlorür $Cu^2 Cl$) und dem Oxyd (Kupferchlorid Cu Cl) entsprechen. Die erstere stellt man auf verschiedene Art dar: durch Erhitzen des wasserhaltigen Kupferchlorids, durch Digeriren einer Kupferchloridlösung mit Kupfer, durch Auflösen von Kupferoxydul in Salzsäure, durch Mischen einer Auflösung von Kupferchlorid mit Zinnchlorür oder durch Erhitzen von Quecksilberchlorid mit Kupfer. In Wasser ist das Kupferchlorür sehr wenig auflöslich, so daß es aus der salzsauren Lösung dadurch gefällt wird. Diese Lösung wird kräftig desoxydirend, sie dient gleichfalls zur Trennung des Kohlenoxydgases von anderen Gasen. Aus einer concentrirten Lösung in Salzsäure schießen Krystalle von Kupferchlorür an, die sich aber sehr bald an der Luft grün färben, indem sich ein basisches Chlorid bildet. Ammoniak löst das Chlorür sehr leicht auf; die farblose Lösung färbt sich aber an der Luft augenblicklich blau. Behandelt man das Chlorür bei Digestionswärme wiederholt mit Wasser, so wird es nach Vogel jun. *) vollständig in Kupferoxydul verwandelt. Besonders rasch geht diese Umwandlung von statten, wenn das Waschwasser recht häufig erneuert wird, wobei die in dem Wasser enthaltene Luft eine bedeutende Rolle spielt. $2\,(Cu^2\,Cl) + O = Cu^2\,O + 2\,Cu\,Cl$. — Kupferchlorid im wasserfreien Zustande erhält man durch Behandeln von Kupfer oder Kupferchlorür mit trocknem Chlorgas; die braune Masse zieht aber an der Luft Wasser an, wobei die Farbe in grün übergeht. Aus den Lösungen von Kupferoxyd, Kupferoxydhydrat und kohlensaurem Kupferoxyd in Salzsäure, oder von Kupfer in Königswasser oder concentrirter Salzsäure bei Zutritt der Luft, deren Farbe bei großer Verdünnung in blau übergeht, erhält man beim Abdampfen grüne vierseitige Säulen von $Cu\,Cl + 2\,HO$, die das Wasser leicht abgeben und dann eine gelbbraune Farbe annehmen. Bei höherer Temperatur entweicht Chlor und Kupferchlorür bleibt zurück. Nach Vogel jun. geben indessen 3 Aeq. Cu Cl nur 1 Aeq. Cl ab, so daß der Rückstand als $Cu^2\,Cl + Cu\,Cl$ zu betrachten ist. Durch Wasser erhält man daraus 1 Aeq. Cu Cl, während das Kupferchlorür ungelöst zurückbleibt, aber leicht durch Zusatz von Salzsäure und Berührung mit der Luft wieder in Chlorid übergeführt werden kann. Vogel wirft die Frage auf, ob diese Art der Chlorentwickelung nicht für technische Zwecke anwendbar sei. Es würde hierbei nur darauf ankommen, daß die Erhitzung des Kupferchlorids, also die Darstellung des Chlors, einen nicht unverhältnißmäßigen Verbrauch an Brennmaterial erfordert. Das Material für die Chlorentwickelung selbst würde wenig kostbar sein, da der Sauerstoff der atmosphärischen Luft dazu benutzt wird, um aus der Salzsäure das Chlor, ohne Verbrauch eines anderen Materials abzuscheiden. — Eine stark verdünnte Auflösung von Kupferchlorid dient als sympathetische Dinte. Die farblosen Schriftzüge treten bei der Erwärmung durch Umwandlung in wasserfreies Chlorid mit gelber Farbe hervor. Beim Liegen in feuchter Luft verschwinden

*) Gelehrt. Anz. d. Münch. Akad. 1855. Nr. 30 u. 31.

sie jedoch nicht wieder ganz, weil auch etwas Chlor entweicht und dadurch eine gefärbte basische Verbindung entsteht. — Das Kupferchlorid ist auch in Weingeist und Aether löslich; die Flamme dieser Lösungen besitzt eine prachtvolle grüne Farbe.

Mit dem Kupferoxyd geht das Chlorid verschiedene basische Verbindungen ein. Eine derselben ($Cu\,Cl + 3\,CuO + 4\,HO$) hat technische Wichtigkeit, da man sie als Bremer-Grün fabrikmäßig darstellt, indem man Kupferbleche, mit Salzsäure oder Salmiaklösung benetzt, der Einwirkung der Luft aussetzt. Der in Chili und Peru vorkommende Atakamit oder Smaragdo-Chalcit besitzt dieselbe Zusammensetzung. — Eine noch brillantere grüne Farbe als das Bremer-Grün giebt die Verbindung $Cu\,Cl + 2\,CuO + 3\,HO$.

Mit Chlor, Brom, Jod, Fluor und Cyan geht das Kupfer gleichfalls je zwei Verbindungen ein, die dem Oxydul und Oxyd entsprechen. Wegen der Unlöslichkeit des Kupferjodürs ($Cu^2\,J$) in Wasser und Säuren hat man die Bildung desselben zur Abscheidung von Jod und zur quantitativen Bestimmung desselben vorgeschlagen.

Im Allgemeinen zeigt das Kupfer große Neigung sich mit anderen Metallen zu verbinden. Von den zahlreichen Legirungen führen wir nur die an, welche für die Technik wichtig sind. Obenan steht das Messing — laiton, cuivre jaune, brass — (Kupfer und Zink, in verschiedenen Verhältnissen zusammengeschmolzen). Schon vor der Entdeckung des Zinks wußte man diese Legirung aus dem Galmei zu bereiten. Jetzt schmilzt man beide Metalle in Tiegeln zusammen oder man setzt Kupfer Zinkdämpfen aus, wodurch aber unreine oberflächliche Messingbildung hervorgerufen wird. Letzterer Methode bedient man sich bei der Darstellung des Messingdrahtes zu unächten Goldtressen. Bei kupfernen Geräthen bewirkt man eine Verwandlung der Oberfläche in Messing, wenn man diese mit verdünnter Salzsäure, der Weinstein und Zinkamalgam zugesetzt worden ist, ansiedet. Die Farbe des Messings ist sehr verschieden, sie richtet sich nach den Verhältnissen, in welchen die beiden Metalle zusammen geschmolzen worden sind. Im Allgemeinen hängt die Farbe wohl von dem Kupfer ab, doch nur in gewissen Verhältnissen. Gewöhnlich rechnet man auf 1 Th. Kupfer $2^1/_4$ bis $2^1/_2$ Th. Zink; nimmt man mehr Zink, so geht die Farbe des Messings mehr ins Rothe und dann wird es so spröde, daß es nicht verarbeitet werden kann. Nach Karsten ist die Legirung aus gleichen Theilen Kupfer und Zink mehr roth als die aus 4 Th. Kupfer und 1 Th. Zink. Man findet auch Blei und Zinn in dem Messing, die meistens aber nicht absichtlich zugesetzt werden. Ein geringer Bleigehalt macht das Messing sehr geeignet zur Bearbeitung auf der Drehbank. In der Hitze wird das Messing sehr spröde, daher kann es nur in der Kälte verarbeitet werden. Das spec. Gewicht (7,824 bis 8,44) hängt ab von dem Gehalt an Kupfer. Beim Erwärmen von 0^0 bis 100^0 dehnt das Messing sich nach Smeaton um $^1/_{533}$ aus. Sein Schmelzpunkt liegt niedriger als der des Kupfers (nach Daniell bei 921^0) und deshalb bedient man sich desselben auch zum Löthen von Kupfer. Für Küchengeschirre ist das Messing eben so wenig zu empfehlen wie das Kupfer; es oxydirt sich gleichfalls in feuchter Luft und in Säuren ist es eben so leicht löslich. Bringt man Messing in eine schwache, etwas angesäuerte Kupfervitriollösung, so überzieht sich die Oberfläche desselben mit Kupfer, das darauf niedergeschlagen wird. Die Abweichungen in der Zusammensetzung des Messings lassen sich aus folgenden Analysen ersehen:

	I. Neustadt-Eberswalde	II.	III. Augsburg	IV. England	V. Stolberg	VI. Sehr hämmerbar
Kupfer	71,36	70,16	71,89	70,29	65,8	70,1
Zink	28,15	27,45	27,43	29,26	31,8	29,9
Zinn	—	0,19	0,85	0,17	0,15	—
Blei	—	0,20	0,90	0,28	2,15	—
	99,51	100,00	100,37	100,00	99,90	100,00

Das Knitter- oder Rauschgold ist sehr dünn ausgeschlagenes Messing, das durch das starke Schlagen eine große Festigkeit und einen starken Glanz erhält. Das mosaische Gold besteht aus 100 Th. Kupfer und 52 bis 55 Th. Zink. Eine andere Legirung, die zu Knöpfen verarbeitet und von den Fabrikanten Platin genannt wird, besteht aus 8 Th. Messing und 5 Th. Zink; sie wird auch noch in anderen Verhältnissen zusammengeschmolzen, wie denn auch noch andere Legirungen (Bathmetal, Bristolmetal ꝛc.) in der Technik verarbeitet werden.

Rothes Messing wird durch Zusammenschmelzen von Kupfer und Zink in sehr verschiedenen Verhältnissen dargestellt und führt darnach die verschiedensten Namen (Tomback, Rothguß, Similor, Prinzmetall, Mannheimer Gold ꝛc.). Gewöhnlich nimmt man mehr als $2^1/_2$ Th., ja selbst bis zu 10 Th. Kupfer auf 1 Th. Zink. Die Verhältnisse werden von einem Jeden, je nach dem Zweck der Verarbeitung abgeändert. Aus einer solchen Legirung wird das unächte Blattgold (Goldschaum), besonders in Nürnberg dargestellt. Es dient ferner zur Anfertigung einer großen Zahl kleiner Luxusartikel, die goldenen ähnlich sehen sollen, und bei Maschinen zu Zapfenlagern und Büchsen, da es sich weniger schnell abnutzt als gewöhnliches Messing.

Schon oben haben wir den Grund angegeben, warum das Kupfer nicht zum Guß verwendet werden kann. Diesen Uebelstand beseitigt man dadurch, daß man das Kupfer mit Zink und Zinn oder Blei oder auch mit beiden letzten zugleich legirt. Eine solche Legirung ist die Bronze, die, wie bekannt, selbst bei den größten Standbildern vielfach in Anwendung kommt. Die vielfachen Anforderungen, die man an die Bronze stellt, bedingen eine vielfache Abänderung in den Verhältnissen der Zusammensetzung. So z. B. wird die große Sprödigkeit einer Legirung von Kupfer, Zink und Zinn durch den Zusatz einer geringen Menge Blei gehoben und dadurch vermieden, daß Gegenstände von bedeutendem Umfang und geringer Dicke reißen. Bei Gegenständen von größerer Masse, wie z. B. Standbildern, die nur langsam erkalten, wirkt der Bleizusatz, wenn er eine bestimmte Grenze überschreitet, oft nachtheilig, indem das Blei aussaigert, d. h. in kleinen Kügelchen an der Oberfläche zum Vorschein kommt, wodurch ein fleckiges Ansehen entsteht und eine gleichmäßige Bildung der Patina, des vor der weiteren Einwirkung der Luft schützenden grünen Ueberzuges, verhindert wird. Im Allgemeinen muß eine gute Bronze eine gefällige, röthlichgelbe Farbe und ein feines Korn besitzen, dabei aber so dünnflüssig sein, daß sie leicht in die feinsten Vertiefungen der Form eindringt und diese vollständig ausfüllt; bei einer gewissen Härte darf jedoch die Sprödigkeit nicht zu groß sein, damit nicht zufällige Stöße Gefahr bringen; sie muß sich überhaupt gut feilen und ciseliren lassen. Eine Hauptsache ist noch die Bildung des zierenden grünen Ueberzuges von kohlensaurem Kupferoxydhydrat, der Patina (aerugo nobilis, patina antique oder verte). Diese Bildung wird jetzt auch künst-

lich in kurzer Zeit hervorgerufen und zwar dadurch, daß man die Oberfläche der Bildwerke mit der Lösung verschiedener Salze bestreicht und dadurch die Oxydation des Kupfers beschleunigt. Nach dem Eintrocknen des Aufgetragenen reibt man die Oberfläche mit Leder ab und fährt hiermit abwechselnd fort, bis die gewünschte grüne Färbung erzielt ist, so aber, daß die schöne Farbe der Bronze durch diesen Ueberzug hindurchschimmert. Solche Lösungen sind: $4^1/_2$ Th. Salmiak, 1 Th. saures oxalsaures Kali und $94^1/_2$ Th. destillirter Essig; salpetersaures Kupferoxyd, Salmiak und Wasser, der man auch noch Kochsalz und gereinigten Weinstein zusetzt *). In der Zusammensetzung variirt die Masse der verschiedenen Bildwerke bedeutend, aber dennoch darf eine gewisse Grenze bei den verschiedenen Bestandtheilen nicht überschritten werden **). Diese bilden folgende Legirungen: 84,42 Kupfer, 11,28 Zink, 4,3 Zinn und 65,95 Kupfer, 31,56 Zink und 2,49 Zinn. Die erstere besitzt die stärkste rothgelbe Farbe und ist wegen des bedeutenden Kupfergehaltes die theuerste; die letztere ist fast goldgelb gefärbt. Ueberhaupt verschwindet die rothe Farbe bei Legirungen, die unter 80 Proc. Kupfer und 3,5 Proc. Zinn und über 17 Proc. Zink enthalten; die Farbe ist hier fast rein gelb, weshalb man dieses Gemisch nur zu Gegenständen verwendet, die vergoldet werden sollen. Zu diesem Zweck empfiehlt d'Arcet besonders folgende Legirungen:

Kupfer	63,70	64,45	70,90	72,43
Zink	33,15	32,44	24,05	22,75
Zinn	2,50	0,25	2,00	1,87
Blei	0,25	2,86	3,05	2,95.

Einige Bronzen von verschiedenen bedeutenden Standbildern sind analysirt worden, die Ergebnisse der Analyse mögen hier folgen:

	I.	II.	III.	IV.	V.
Kupfer	91,40	89,62	82,45	83	75
Zink	5,53	4,20	10,30	14	20
Zinn	1,70	5,70	4,10	2	3
Blei	1,37	0,48	3,15	1	2.

I. Reiterstatue Ludwig XIV., 484 Ctr. schwer, von Keller 1699 in einem Guß vollendet; II. Statue Heinrich IV.; III. Reiterstatue Ludwig XV., 545 Ctr. schwer, von Gor; IV. Statue der Minerva in Paris; V. Statue Napoleons, sehr gelb.

Die Bronze der Alten (aes) unterscheidet sich wesentlich von der der neueren Zeit dadurch, daß, wie durch zahlreiche Analysen nachgewiesen ist, sie nur aus Kupfer und Zinn bestand, mitunter aber auch noch Blei enthielt. Dies gilt jedoch nur für die Griechen und deren Colonien ***). In römischen Legirungen findet man häufig Zink, entweder neben allen dreien oder neben den beiden ersteren oder auch nur mit Kupfer allein. Die Alten prägten nicht allein Münzen aus Bronze, sondern verfertigten daraus auch die verschiedensten Geräthe und Waffen. Je nach

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. IX. S. 470. Bd. XXIV. S. 519. Bd. LVIII. S. 480.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXII. S. 226.

***) Göbel, über den Einfluß der Chemie auf die Ermittelung der Völker der Vorzeit. Erlangen 1842.

Bedürfniß wußten sie diesen Legirungen Härte und Sprödigkeit oder Weichheit und Biegsamkeit zu ertheilen. Das Letztere erreichten sie durch rasche Abkühlung — Ablöschen in kaltem Wasser. Die Verhältnisse der Bestandtheile variiren hier eben so sehr, wie bei der Bronze der neueren Zeit: zwischen 85 bis 97 Kupfer und 15 bis 3 Zinn. Mitunter findet man auch eine geringe Menge von Silber und Eisen darin, die aber wohl in den anderen Metallen enthalten waren und keinen wesentlichen Bestandtheil ausmachen.

Noch heute finden ähnliche Legirungen aus Kupfer und Zinn eine vielfache Verwendung in der Technik. So dient namentlich zu Denkmünzen eine Legirung, die 8 bis 12 Proc. Zinn enthält. Dann gehört hierher die Glockenspeise (Glockengut), welche 22 bis 25 Proc. Zinn enthält. Mit dem Zinngehalt wächst auch die Sprödigkeit, so daß bei einem größeren Zinngehalt als angegeben, die Glocke dann den Schlägen des Klöppels beim Läuten nicht widerstehen kann. Die englische Glockenspeise hat nach Thomson eine andere Zusammensetzung: 80 Kupfer, 10,1 Zinn, 5,6 Zink und 4,3 Blei. Irrthümlich ist man der Ansicht, daß der schöne Klang mancher alten Glocken von einem Zusatz an Silber herrühre; im Gegentheil wirkt der Zusatz eines jeden Metalles, selbst des edlen Silbers, nachtheilig. In jüngster Zeit liefern Meyer und Kühne bei Bochum in Westphalen Glocken aus Gußstahl, die gegen Glocken aus Bronze außerordentlich wohlfeil sind. Glocken von 40 bis 300 Pfd. kosten 7 Sgr. 6 Pfg. und von 300 bis 7000 Pfd. 6 Sgr. pro Pfund in der Fabrik. Manche arme Gemeinde ist dadurch in den Stand gesetzt sich Glocken anzuschaffen, woran sie bisher durch den hohen Preis der Bronze verhindert war. Die Güte und Brauchbarkeit dieser Glocken ist anerkannt; zahlreiche Zeugnisse von Gemeindebehörden und Kirchenvorständen bestätigen ihren reinen, kräftigen Ton, ihre große Schallweite und Haltbarkeit. Und doch hat sich der Benennung wegen ein heftiger Streit darüber erhoben. Dingler *) und Krupp, der rühmlichst bekannte Gußstahlfabrikant in Essen **), erklären die Bezeichnung „Gußstahlglocken" für eine Täuschung des Publikums, welche nur den Zweck haben kann, dem Material, das nur aus Roheisen besteht, den Werth des kostspieligeren Gußstahls beizulegen. Es soll ein so kohlehaltiges Eisen sein, daß es weit davon entfernt ist schmiedbar zu sein. Eisenhütten, welche Spiegeleisen oder weißes Roheisen darstellen, brauchen nur die richtige Mitte zwischen Spiegeleisen und körnigem Roheisen zu treffen, um die Glocken zum Drittheil des jetzigen Preises zu liefern. Dagegen aber erheben sich gewichtige Stimmen ***), die erklären, daß es zu wiederholten Malen geglückt sei, Stücke dieser Glocken zu schmieden und zu strecken, das Material durchaus gewöhnlichem Gußstahle gleiche Eigenschaften besitze, jedoch mit der Ausnahme, nicht für Schneidewerkzeuge brauchbar zu sein, indem es für derartige Zwecke sehr leicht dem Zerspringen ausgesetzt sei und der Klang dieser Glocken sich gegen den zweier aus gutem Roheisen gefertigten durch helleren Ton und längere Dauer der Schwingungen sehr vortheilhaft auszeichne.

Aus einer Legirung, die 22 Proc. Zinn enthält, fertigen die Chinesen ihre bekannten Gong-Gongs — Becken mit dünnem Boden, die man nach Art

*) Polyt. Journ. Bd. CXXXIII. S. 397.
**) Kölnische Zeitung vom 12. Sept. 1854.
***) Polyt. Centralb. 1855. S. 762.

der großen Trommel mit einem hölzernen mit Leder bezogenen Schlägel anschlägt, wobei sie einen sehr vollen und kräftigen Ton, wie eine größere Glocke geben. Die Darstellung dieser Instrumente war lange Zeit Geheimniß; sie wurde von d'Arcet gelehrt *), nachdem Klaproth die Masse analysirt hatte. Jetzt fertigt man aus ähnlichen Legirungen kleine Uhrglocken, Tischklingeln, Cymbeln &c. an. — Eine an Zinn (30 bis 35 Proc.) reichere Legirung ist das Spiegelmetall. Das beste Verhältniß des Kupfers zum Zinn soll 2 : 1 sein; bei sehr großen Spiegeln verringert man der Sprödigkeit wegen den Zinnzusatz. Edwards **) empfiehlt auf 32 Kupfer und 15 bis 16 Zinn einen Zusatz von 2 Th. Arsenik; diese Legirung soll unter allen bekannten am besten das Licht in größter Menge zurückwerfen. Ueber $^1/_{16}$ der gesammten Legirung darf jedoch der Arsenikzusatz nicht betragen, weil sonst die Spiegel anlaufen und blind werden. Silber vermindert die Härte der Legirung und beeinträchtigt dadurch die Politur. Die bekannten chinesischen Spiegel enthalten kein Zinn; die Legirung besteht aus 80,8 Kupfer, 9,5 Blei und 8,5 Antimon. — Das Kanonenmetall, Kanonengut, Geschützmetall (bronze de canons, gun-metal) ist gleichfalls eine Legirung aus Kupfer und Zinn, die 9 bis 11 Proc. des letzteren Metalles enthält. Beim Erkalten der gegossenen Geschützröhren sondert sich an den Stellen, wo die Abkühlung nur langsam eintritt, eine zinnreichere weiße Legirung ab (mit 19 bis 23,69 Proc. Zinn), welche dem Geschütz die Härte verleiht, so daß die Kugeln nicht leicht Furchen ziehen, während die zinnärmere Legirung die Zähigkeit bewirkt. Die erstere Legirung brennt bald aus und dann ist das Geschütz unbrauchbar.

Aehnliche Legirungen finden eine ausgedehnte Anwendung zu den verschiedensten Maschinentheilen. Wir stellen hier eine Anzahl Analysen zusammen, aus denen die Zusammensetzung und Verwendung derartiger Legirungen hervorgeht.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
Kupfer	73,6	89,0	86	79	5,5	90,2	89	86,8	4	90
Zinn	9,5	2,5	14	8	14,5	3,5	2,4	12,4	6	10
Zink	9,0	7,8	—	5	80	6,4	9	—	—	—
Blei	7,0	—	—	8	—	—	—	—	—	—
Antimon	—	—	—	—	—	—	—	—	8	—

I. Achsenlager einer englischen Locomotive, enthielt noch 0,42 Eisen; II. Lagermetall für die Treibachsen einer belgischen Locomotive mit noch 0,8 Eisen; III. Lagermetall für Locomotivenachsen aus Seraing; IV. Stephenson's Zapfenlager für Locomotiven; V. Fenton's Antifrictionsmetall zu Zapfenlagern für Maschinen und Locomotiven; VI. Metall zu Stopfbüchsen für Kolbenstangen einer belgischen Locomotive; VII. Metall für Locomotivkolben aus Seraing; VIII. Metall zu Regulatoren einer belgischen Locomotive; IX. Dewrance's Zapfenlagermetall für Locomotiven; X. Köchlin's Metall zu kleinen Rädern für Spinnmaschinen.

In neuester Zeit hat Lafond, Werkführer einer Gießerei zu Aubin im Departement Aveyron, eine Zusammenstellung verschiedener technisch wichtiger Metallmischungen, namentlich zum Gebrauche bei Locomotiven und natürlich auch zur

*) Gilb. Ann. Bd. LVI. S. 104.
**) Gilb. Ann. Bd. XII. S. 167.

vortheilhaften Verwendung bei anderen ähnlichen Gelegenheiten, gegeben *), der wir folgendes entnehmen.

A. Bronzen zu verschiedenen Bestandtheilen der Locomotiven.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII. a.	VII. b.	VIII.
Kupfer	80	82	83	87	88	84	80	81	98
Zinn	18	16	15	12	10	14	18	17	2
Zink	2	2	1,5	—	2	2	—	—	—
Blei	—	—	0,5	—	—	—	—	—	—
Antimon	—	—	—	1	—	—	2	2	—

I. Zu den Lagern der Treibräder. Auf dem Bruch fast weiß von Farbe, dichtkörnig, sehr hart, aber doch ohne besondere Schwierigkeit zu bearbeiten. Der Zinkzusatz vermehrt die Festigkeit und beugt dem Bersten der Lager vor. II. Zu Lenkstangen-Lagerfuttern. Der Bruch ist ein wenig röthlich, das Korn dicht, die Festigkeit sehr groß, dabei aber doch geschmeidig, weil der Druck der Lenkstangen die Lagerfutter zerbricht, wenn das Metall zu spröde ist. III. Zu Gegenständen, welche Stöße und sehr starke Reibungen aushalten sollen. IV. Zu Ventilkugeln und anderen Gegenständen, woran Löthungen mit Schlagloth zu machen sind. Sie ist geschmeidig, von rothem feinkörnigen Bruche. V. Zu Pumpencylindern, Ventilgehäusen und Hähnen. Von blaßrothem Bruche, sehr gut zu feilen und zu poliren. VI. Zu Excentrieringen. VII. Zu den Dampfpfeifen. a. giebt einen helleren Ton; beide sind zwar hart, aber doch ziemlich gut zu drehen und zu feilen. VIII. Zu Spülpfropfen und Montirhammern. Schmiedbar wie reines Kupfer.

B. Verschiedene Metallmischungen zu anderem Gebrauch.

	IX.	X.	XI.	XII.	XIII.
Kupfer	78	25	—	—	97
Zinn	20	5	—	—	2
Zink	2	—	20	40	1
Gußeisen	—	70	—	—	—
Blei	—	—	30	50	—
Antimon	—	—	50	10	—

IX. Zu Lagern der Eisenbahnwagen. X. Wohlfeilere Legirung statt der Bronze. Weißgrau, ein wenig ins Gelbliche ziehend, an Festigkeit IX. übertreffend. XI. Graues Zapfenlagermetall. Obwohl von geringer Härte, nimmt dieses Gemisch doch eine Glätte an, welche die Reibung sehr mildert; nachtheilig ist jedoch der Umstand, daß das geringste zwischen Zapfen und Lager gelangende Sandkorn schnell Ritze hervorbringt. XII. Zu kleinen Rädergußmodellen, deren Zähne auf der Theilmaschine eingeschnitten werden. XIII. Bronze zu Medaillen.

Arsenik mit Kupfer unter einer Decke von Kochsalz zusammengeschmolzen giebt das bekannte Weißkupfer (Argent haché), das zu Verzierungen, aber nie zu Geräthen verarbeitet wird. — Eine andere Legirung dieses Namens besteht aus

*) Polyt. Centralb. 1855. S. 740.

Kupfer, Zink und Nickel, die auch den Namen Neusilber führt und besonders abgehandelt werden soll. (S. diesen Art.) Silber und Gold werden nie rein zu Münzen, Schmucksachen und Geräthen, sondern stets mit einem Zusatz von Kupfer verarbeitet, wodurch dem edlen Metall eine größere Härte ertheilt wird.

Kupferamalgam wendet man zum Ausfüllen der Höhlungen cariöser Zähne an. Nach Pettenkofer *) besteht es aus 30 Th. Kupfer und 70 Th. Quecksilber. W. B.

Kupfervitriol, s. Kupfer.

Kurzsichtigkeit, s. Sehen.

Labialpfeife, s. Pfeife.

Lactometer, s. Aräometer.

Ladungselektrometer, s. Elektrometer.

Ladungsflasche, s. Flasche, elektrische.

Länge, geographische, s. Breite, geographische.

Länge eines Gestirns, s. Breite eines Gestirnes, astronomische.

Längenuhr, s. Chronometer.

Lampe. Die Lampe ist als künstliches Beleuchtungsmittel seit den ältesten Zeiten im Gebrauch. Ihre Erfindung schreibt man den Aegyptern zu und von hier aus verbreitete sie sich nach Griechenland und Rom. Die älteste Form der Lampe ist uns in zahlreichen Exemplaren erhalten, an denen wir die künstlerische Form bewundern. Diese ist zu bekannt, als daß wir nöthig hätten sie in einer Abbildung vorzuführen. Durch die Völkerwanderung ging auch das Einzige, das wir an dieser Lampe bewundern, nämlich die Form, verloren und später trat unsere gewöhnliche, geschmacklose Küchenlampe an deren Stelle. Da erst durch Lavoisier gegen Ende des vorigen Jahrhunderts das Wesen der Verbrennung aufgedeckt wurde, so ist es sehr natürlich, daß bis dahin die Einrichtung der Lampe eine sehr unvollkommene war. Der Docht ist zu dick und dadurch entsteht ein Mißverhältniß zwischen der Menge des Oeles, die von dem Dochte aufgesogen wird und der nur von außen zuströmenden Luft. Die Verbrennung findet nur ringsum am Rande des Dochtes statt; nach innen hin ist der Luft der Zutritt versagt und daher das Rauchen und Qualmen dieser Lampen. Auf die anderen Uebelstände, die wir an diesen Lampen finden, kommen wir später zurück.

Sobald Lavoisier gezeigt hatte, welche Rolle die atmosphärische Luft bei der Verbrennung spielt, da war der Weg zu Verbesserungen angebahnt und schon nach kurzer Zeit wurde er betreten. Bereits 1782 lieferte der Schwede Altströmer **) die dünnen bandförmigen Dochte, welche der Luft eine viel größere Oberfläche und in Folge dessen auch zahlreichere Berührungspunkte darboten, als die bis dahin gebräuchlichen runden Dochte. Auf diese Art wurde nicht allein ein

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXX. S. 344.
**) Neue schwed. Abhandl. 1784. Nr. 22.

schöneres und helleres Licht erzielt, sondern auch der belästigende Rauch bedeutend vermindert.

Einen weiteren und bedeutenderen Schritt vorwärts machte schon im nächsten Jahre der Genfer Ami Argand durch die Einführung der runden und hohlen Dochte, die ein Licht lieferten, das an Glanz und Reinheit alles bis dahin Bekannte übertraf *). Hier ist es nicht allein die große Oberfläche, wodurch eine vollständige Verbrennung des zersetzten Oeles bewirkt wird, sondern mehr noch der beständige Luftzug, der durch die innere Höhlung des Dochtes emporbringt. Jedoch erst durch die Hinzufügung des Cylinders machte Argand seine Erfindung zu der hervorragendsten auf dem Gebiete der künstlichen Beleuchtung. Die zuerst angewendeten Cylinder waren gerade; sie halfen zwar dem Mangel an Luftzug ab und verstatteten den Docht höher zu stellen, ohne daß ein Qualmen eintrat, aber die Form dieser Cylinder bedingte ein anderes Uebel: der dadurch bewirkte Luftzug war zu stark und beeinträchtigte wiederum die Flamme. Dieser Nachtheil wurde jedoch bald durch Lange beseitigt, der den Zuggläsern die jetzt allgemein bekannte Form gab **). Während in den Argand'schen Cylindern sich der Luftstrom parallel mit dessen Axe bewegt, so daß ein Theil der Luft gar nicht an der Verbrennung Theil nimmt, vielmehr die Flamme abkühlt und das Licht derselben beeinträchtigt, fällt dieser Uebelstand in Folge der sogenannten Schulter, die dadurch entsteht, daß Lange dem Cylinder in einer gewissen Höhe über dem Brenner eine verjüngte Form gab, ganz fort. Hier bricht sich der Luftstrom und tritt nun unter einem gewissen Winkel in die Flamme, so daß dennoch, obgleich die Flamme mit einer geringeren Menge Luft gespeist wird, eine vollständigere Verbrennung und somit ein größerer Effect erzielt wird. Mit dieser Verbesserung war nach der einen Seite hin alles geleistet.

Nach den photometrischen Messungen des Grafen v. Rumford ***) verhielt sich die Lichtmenge der Argand'schen Lampen zu der einer gewöhnlichen, wie sie bis dahin im Gebrauch waren, wie 187 : 100 und die Quantität des verzehrten Oels in der ersteren zu der in der letzteren wie 155 : 100. Daraus geht hervor, daß die Lichtmenge, welche aus einer gegebenen Quantität Oel durch die Argand'sche Lampe erzielt wurde, größer war als die, welche die gewöhnliche Lampe daraus lieferte und zwar in dem Verhältniß von 100 : 85 und daraus resultirt ein Ersparniß von 15 Proc. Oel beim Gebrauch der Argand'schen Lampen gegen die gewöhnlichen. Diese Sparsamkeit im Verbrauch an Oel, verbunden mit der größeren Helligkeit des Lichtes und der gänzlichen Abwesenheit des lästigen Qualmes und Rauches machen den großen Beifall und die außerordentliche Verbreitung, welche Argand's Entdeckung seiner Zeit fand, erklärlich.

Den zu starken Glanz des Lichtes, über den man sich vielfach beklagte, milderte L'Ange zuerst durch einen Lichtschirm von Flor oder durch einen solchen aus gefirnißtem Eisenblech. Weniger Beifall fanden die von demselben angefer-

*) Die Geschichte dieser Erfindung findet man in: Découverte des Lampes à courant d'air et à cylindre, par Argand. Genève 1785 und in Gilb. Ann. Bd. LVI. S. 391.

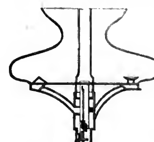
**) Als ein gutes Mittel das Zerspringen der Lampencylinder zu verhüten haben sich einige Einschnitte mit dem Diamanten, die man auf der convexen Fläche des Glases anbringt, bewährt.

***) Gren's neues Journ. d. Phys. Bd. II. S. 49.

tigten gefärbten Cylinder, welche nur ein bleiches, dem Tageslicht ähnliches Licht hindurch ließen. Parrot ließ die Glascylinder so weit die Flamme reichte und selbst darüber hinaus äußerlich matt schleifen und die Gebrüder Girard umgaben zuerst die Flamme mit einer matt geschliffenen Glaskugel, durch welche die Flamme zwar ganz dem Auge entzogen, das Licht aber nur wenig vermindert wurde. Diese Einrichtung hat namentlich einen großen Beifall gefunden. Auf den Nutzen dieser Vorrichtungen hat schon der Graf Rumford *) aufmerksam gemacht.

Die Regulirung des Luftzuges ist nicht die einzige Bedingung, die man bei der Construction der Lampen zu beachten hat: eine weitere Hauptsache ist das Oelreservoir. Der Docht liegt gewöhnlich höher als das Niveau des Oeles, so daß das Oel durch die Capillarröhrchen des Dochtes aufgesogen und der Flamme zugeführt wird. Brennt nun die Lampe längere Zeit hindurch, so sinkt natürlich das Niveau des Oeles in dem Vorrathbehälter in dem Maße, als das Oel verzehrt wird, und um so höher muß das Oel in den Capillarröhrchen des Dochtes steigen, so daß jetzt nicht mehr dieselbe Menge Oel zugeführt wird. Schon deshalb muß die Helle des Lichtes mit der Zeit abnehmen, ganz abgesehen davon, daß durch die in dem Oele enthaltenen Unreinigkeiten die Capillarröhrchen des Dochtes verengt werden. Als weiterer Uebelstand tritt hierzu noch der Schatten, den der Oelbehälter, der sich fast in gleicher Höhe mit dem Brenner befindet, wirft.

Eine Abhülfe für beide Mängel suchte Boulier, der Nachfolger Argand's und Erbe der Fabrik zu Versoir, dadurch zu erreichen, daß er dem Oelbehälter in der von ihm 1809 construirten Astrallampe (s. beistehende Figur) eine ringförmige Gestalt gab, weshalb diese Art Lampen auch Kranzlampen genannt werden. In diesem flachen Oelbehälter konnte das Niveau des Oeles nur um ein Geringes sinken und die Gleichförmigkeit des Lichtes keine bedeutende Einbuße erleiden. Verwendet man die Astrallampe als Hängelampe, so beeinträchtigt auch der Schatten, der hier mehr nach der Decke hinfällt, nicht; bei stehenden Tischlampen wirkt der Schatten doch noch immer störend, da er, wenn gleich schmal, doch nach allen Seiten hinfallt.

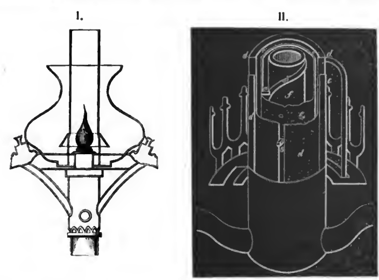


Die von Philipps construirte Sinumbralampe — sine umbra, ohne Schatten — (s. umstehende Fig. I.) verdient ihren Namen in der That; der Schatten wird hier fast gänzlich durch eine matte Glasglocke aufgehoben, welche die Flamme noch unterhalb des Kranzes umfaßt und das Licht nach allen Seiten hin zerstreut. Bemerkenswerth ist hier noch die Vorrichtung, durch welche der Docht auf- und abbewegt wird (s. umsteh. Fig. II.). Trieb- und Zahnstange, wie sie bei älteren Lampen, namentlich der sogenannten Studierlampe gebräuchlich sind, findet man hier nicht. Statt dessen windet sich um den inneren Cylinder f ein Schraubengang, in welchen der kurze Stift oder die Nase a des Dochthalters e paßt, so daß der letztere, wenn er gedreht wird, auf und ab steigt. Um diese Drehung hervorrufen zu können, ist der bewegliche Blechcylinder d auf-

*) Gilbert's Ann. Bd. XLV. S. 341.

geschlitzt; in diese Spalte greift ein zweiter Stift b ein, der an der Außenseite von e angebracht ist und d steht wieder mit der Gallerie des Zugglases in Verbindung, indem ersteres oben in einen breiten Ring ausgeht, der auf den Rand des niedrigeren Cylinders c aufliegt und diesen erst zur vollen Brennerhöhe ergänzt.

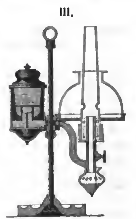
I. II.



In diesen Ring sind nun die Tragstäbe der Gallerie eingelassen, so daß, wenn man diese dreht, der Docht auf und ab steigt. Diese Einrichtung ist auch auf andere Lampen übergegangen.

Mancherlei Vorrichtungen sind außerdem ersonnen worden, um einen gleichmäßigen Zufluß des Oeles dadurch hervor zu bringen, daß das Oel in demjenigen Theile der Lampe, in welchem sich der Docht befindet, möglichst hoch und gleichförmig hoch steht. Ordnen wir diese nach den Principien, so haben wir 1) die Sturz- oder Flaschenlampen, 2) die aerostatischen, 3) die hydrostatischen u. 4) die mechanischen Lampen.

III.



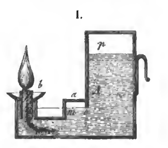
IV.

Als Repräsentant der ersteren führen wir die weit verbreitete Schiebelampe (Fig. III.) an. Das Princip ihrer Einrichtung wird uns durch Fig. IV. leicht klar. C und B sind zwei Gefäße, die mit einander communiciren; A ist eine bewegliche Blechflasche — der Oelbehälter — deren Mündung durch ein Ventil verschließbar ist. Kehren wir behufs der Füllung die Mündung

nach oben, so fällt das Ventil zurück und die Oeffnung ist frei; ziehen wir das Ventil an seinem Stiele wieder empor, so wird die Oeffnung dadurch verschlossen und man kann das Gefäß umkehren, ohne daß Oel herausfließt. Setzen wir es nun in C ein, so stößt der Stiel des Ventiles auf den Boden auf und durch die nun freigewordene Oeffnung strömt das Oel aus, indem die Luft durch c in den Oelbehälter eintritt und das Oel verdrängt, welches sich nun in den communicirenden Gefäßen ausbreitet, bis es die Oeffnung der Sturzflasche gegen das Eindringen der Luft versperrt. Beim Gebrauch der Lampe sinkt das Niveau des Oeles, da es in B durch die Flamme verzehrt wird, zeitweise, wodurch die Oeffnung frei wird und der Luft der Eintritt wiederum gestattet ist, worauf das Spiel des Ausfließens von Neuem beginnt, bis die Mündung abermals gesperrt wird. Bleibt hier das Niveau des Oeles auch nicht beständig constant, so sinkt es doch nicht bedeutend und nimmt alsbald seine ursprüngliche Höhe wiederum ein, so daß also nicht, wie bei den Kranzlampen, dem Dochte allein die Aufgabe zufällt, das Oel zu einer bedeutenden Höhe aufzusaugen und der Flamme zuzuführen.

Von einfacherer und in mancher Hinsicht zweckdienlicher Construction sind die Lampen Fig. I. und II. ohne Hülle. In Fig. I. dient a zum Einfüllen des Oeles und zum Eintritt für die Luft, sobald das Oel unter o gesunken ist, wo sich dann die Luft in p ansammelt, bis sich die Wand o wiederum im Oel befindet. In

I.



II.

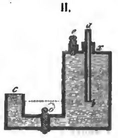


Fig. II. ist das Niveau des Oeles bei c abhängig von dem Stande der Mündung b. Der Zufluß des Oeles läßt sich demnach durch Verschieben des Rohres a b, das sich luftdicht in der Stopfbüchse x bewegt, reguliren. Die Luft tritt hier durch b ein. Die Hähne d und e dienen nur beim Füllen. — Bei den Kranzlampen wendet man dies Princip gleichfalls an.

Ganz frei von Uebelständen sind diese Lampen nicht. Der größte ist der, daß mitunter mehr Oel aus der Sturzflasche ausfließt, als durch die Flamme verzehrt wird. Dies findet sehr leicht statt, wenn die Sturzflasche zum Theil mit Luft erfüllt ist und diese sich bei erhöhter Temperatur bedeutend ausdehnt.

Um den Schatten, der auch hier von dem seitwärts belegenen Oelbehälter hervorgerufen wird, ganz aufzuheben, hat man den Oelvorrath in den Fuß der Lampe verlegt. Dieser eine Zweck wird dadurch vollständig erreicht, aber zugleich giebt man dadurch einen wichtigen Vortheil auf. Statt daß sich bei der Sturzflasche die constante Höhe des Niveaus durch das freiwillige Nachfließen des Oeles von selbst herstellt, muß man hier dafür sorgen, daß das Oel in dem Maße als es verzehrt auch gehoben wird, damit nicht die Aufsaugung des Dochtes gestört

und die Helligkeit der Flamme beeinträchtigt werde. Dieser Zweck wird durch verschiedene sinnreiche, aber auch complicirte und daher kostbare Apparate erreicht, die zum Theil auf hydrodynamischen, zum Theil auf hydrostatischen Principien beruhen, theils wiederum aber nur mechanische Vorrichtungen sind.

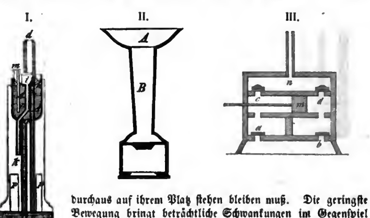
Zu den aerostatischen Lampen gehört die von Girard, deren Einrichtung aus beistehender Figur ersichtlich ist. Das Grundprincip ist hier der Windkessel der Feuerspritze oder der bekannte Heronsbrunnen. In das geschlossene Oelbehälter wird Luft gewaltsam eingepreßt, diese drückt auf das Oel und treibt es zur Flamme in die Höhe. Der Raumersparniß wegen sind die einzelnen Theile A, B, C, die durch 4 Röhren mit einander verbunden oder von einander getrennt sind, in einander geschachtelt und das Ganze hat die Form eines Cylinders. Durch A wird die Oelsäule in dem Rohre ab gespeist; B enthält die eingeschlossene Luft, welche den Druck auf die Luft in C überträgt. Die Speisung des Dochtes findet von hier aus statt, während das Oel in A und B nur als drückende (hebende) Flüssigkeiten dienen. Zumeist ist es die unbequeme Form, welche bis jetzt der Verbreitung dieser Lampen hindernd entgegen gestanden hat und dann ist die Füllung dieser Lampe, überhaupt die Vorrichtungen der Art, daß man sich allgemein davor scheut. Man hat es dahin gebracht, daß diese Lampe 10 Stunden lang ein gleichmäßig helles Licht liefert, wenn nicht die Veränderungen des Luftdruckes und der Temperatur einen zu bedeutenden Einfluß auf die eingeschlossene Luft ausüben.



Die Grundlage der hydrostatischen Lampen ist das bekannte physikalische Gesetz vom Gleichgewicht der Flüssigkeiten in communicirenden Röhren. Bei Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit ist die Höhe der Flüssigkeitssäulen, die einander das Gleichgewicht halten, eine verschiedene; sie steht im umgekehrten Verhältniß zum spec. Gew. der Flüssigkeiten. Die Flüssigkeit, welche hier dem Oel das Gleichgewicht halten soll, muß also ein größeres spec. Gew. besitzen; weiter ist erforderlich, daß sie weder auf das Oel noch auf die Lampe eine Einwirkung ausübt, bei mehreren Graden unter Null nicht erstarrt, dabei wohlfeil ist und die gehörige Dichtigkeit besitzt. Die Anwendung dieses Grundsatzes ist schon sehr frühe versucht worden, eben so wie die Sturzflasche. Schon 1787 ließ sich Keir zu Kentish Town eine Lampe dieser Art patentiren, wobei er eine Salzlösung oder Mutterlauge als schwere Flüssigkeit angab, deren spec. Gew. zu dem des Oeles in dem Verhältniß von 4 : 3 stand. Zu dieser Zeit aber erregte die Argand'sche Lampe so viel Aufsehen, daß jene sehr wenig bekannt wurde. Es wurden noch andere Constructionen dieser Art versucht, bei denen Syrup, Honig oder auch Quecksilber als schwerere Flüssigkeit verwendet wurden; sie fanden aber alle wenig Beachtung, bis endlich 1825 Thilorier in Paris eine Lampe construirte, bei der eine Auflösung von Zinkvitriol in einem gleichen Gewicht Wasser als schwerere Flüssigkeit verwendet wird. Die Dichtigkeit dieser Lösung ist 1,57 Mal größer, als die des Oeles, so daß also die Zinklösung bei einer Höhe von 10″ eine Oelschicht von 15,7″ Höhe zu tragen vermag. Die Einrichtung dieser Lampe ist übrigens der Art, daß sie sich vor anderen vortheilhaft auszeichnet.

Die Construction der Thilorier'schen Lampe wird uns aus Fig. I. ersichtlich. A ist verschlossen und steht nur durch die Röhre m n mit der äußeren Luft in Verbindung. Die Räume A und B stehen durch das Rohr a b mit einander in Verbindung, während von B ein Rohr c d bis zum Brenner empor führt. Mittelst des Fig. II. abgebildeten Trichters wird die Lampe gefüllt; zuerst mit der Zinkauflösung und dann mit Oel; der Ueberschuß des letzteren läuft durch das Rohr i k in das Gefäß P, das von Zeit zu Zeit entleert wird. Die Zinkauflösung steht in der Lampe von h bis k, das Oel von k bis d. Das Niveau des Oeles bleibt hier zwar keinesweges bei d genau dasselbe, denn wenn es hier durch die Flamme verzehrt wird, fällt das Niveau der Zinkauflösung bei h und steigt dagegen bei k und dadurch sinkt auch das Oel bei d. Der Unterschied ist aber für die Dauer eines Abends ein sehr unmerklicher, so daß dadurch die Helligkeit des Lichtes wenig beeinträchtigt wird. Er beträgt hier nicht mehr als 2 — 3''', während das Oel im Brenner der Kranzlampen nicht selten um 1'' fällt. Die Lampe muß jeden Abend mit Oel gefüllt werden, während die Zinklösung stets dieselbe bleibt.

Trotz ihrer großen Vorzüge wird die Verbreitung dieser Lampe durch den einen Umstand sehr behindert, daß sie nämlich, sobald sie angezündet worden ist,



durchaus auf ihrem Platz stehen bleiben muß. Die geringste Bewegung bringt beträchtliche Schwankungen im Gegenspiel der beiden Flüssigkeiten hervor, die sehr leicht ein Verlöschen der Lampe zur Folge haben.

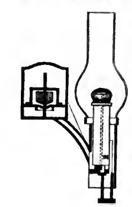
Mehr Eingang haben trotz ihres anfänglich theueren Preises die Lampen gefunden, in denen das Oel durch mechanische Vorrichtungen zu dem Brenner hinauf gepumpt wird. Die erste Lampe dieser Art wurde 1800 von Carcel construirt. Das Oel wird durch ein nicht sehr verwickeltes Werk nach Art der Uhren, das sich im Oelbehälter in dem säulenförmigen Fuße der Lampe befindet, zur Flamme emporgetrieben. Das Pumpwerk (Fig. III.) ist ein viereckiges Gefäß, in dessen mittlerem Theile sich der horizontal liegende Stiefel hin und her bewegt. Der obere Raum n steht mit dem Steigrohr in Verbindung, der untere Raum, in dessen Mitte sich eine Scheidewand befindet, durch zwei Ventile mit dem Oelbehälter. Bewegt sich der Kolben m nach c a hin, so tritt Oel aus dem Behälter in b ein

und das Oel zwischen c, a und m wird gezwungen durch c in das Steigrohr zu treten; bei dem Rückgange des Kolbens nach d b, tritt das Oel durch a ein und durch d in das Steigrohr. Durch eine Feder wird das Uhrwerk in Bewegung gesetzt.

Auf diese Art wird stets mehr Oel zur Flamme hinaufgepumpt, als diese zu verzehren im Stande ist, so daß stets das überflüssige Oel an dem Brenner herunter läuft und in den Behälter zurück gelangt, um wiederum hinaufgetrieben zu werden. Aus diesem Grunde muß man bei diesen Lampen den Docht höher herausschrauben als bei den gewöhnlichen Lampen, wodurch die Flamme weiter über den Blechrand gerückt wird und weniger durch Wärmeentziehung leidet. Das eben Geschilderte bildet die Eigenthümlichkeiten und die Vorzüge der Carcel'schen Lampen; das Oel verbrennt hier auf die zweckmäßigste Weise, so daß diese Lampe die größte Menge Licht liefert, wobei dasselbe während der ganzen Brennzeit stets gleichmäßig bleibt, weil eine Verkohlung des Dochtes, also eine Verringerung der Aufsaugung des Oeles nicht stattfindet.

Die Regulateur- oder Moderateurlampen sind nach einem gleichen Princip construirt, dabei einfacher, wohlfeiler und weniger leicht in Unordnung gerathend als die Carcel'schen Lampen. Dadurch ist das Hinderniß — der theuere Preis — besiegt, das die allgemeine Verbreitung, welche die Carcel'sche Lampe ihrer Vorzüge wegen so sehr verdiente, bedeutend beeinträchtigte. Bei den Regulateurlampen wird das Oel dem Brenner durch den Druck einer Spiralfeder zugeführt. Die Spannung der Feder verändert sich aber und in demselben Verhältniß nimmt natürlich auch die Zufuhr des Oeles ab. Deshalb hat Richardson hier eine Verbesserung eingeführt; die zusammengedrückte Feder treibt das Oel über einen Kolben und steht im Gleichgewicht mit der Belastung; diese nimmt ab in dem Maße als das Oel verbrennt und dann hebt sich die Feder. Ueberdies ist die Feder genau abjustirt und ihre Ausdehnung ist gleich dem Volumen des verbrennenden Oeles, wodurch immer ein gleiches Niveau erhalten bleibt.

Wir können hier nicht alle Verbesserungen anführen, welche man seit der Zeit der Argand'schen Lampen dem Publikum geboten hat. Ihre Zahl ist eine sehr große; freilich darunter die meisten von einem sehr geringen Werthe. Wir heben hier nur noch einige Versuche hervor, bei welchen man durch Veränderungen an dem Cylinder oder den Brennern die Helligkeit des Lichtes bedeutend vergrößern wollte. Es sind hier besonders zu nennen die sogenannte Liverpool-Lampe, die Frankenstein'sche Solarlampe und die Benkler-Ruhl'sche Lampe.



Die Liverpoollampe (s. beistehende Figur) ist schon vor längerer Zeit construirt; der Brenner ist der gewöhnliche Argand'sche, nur ist hier die Abänderung getroffen, daß in der Axe desselben ein Draht angebracht ist, der bis zur Höhe von einigen Linien über den oberen Rand hervorragt und an seinem Ende eine kleine runde Metallplatte trägt. Der Zweck dieser Vorrichtung ist, den senkrecht aufsteigenden inneren Luftstrom zu brechen, so daß er also beinahe horizontal in die Flamme eintritt, wodurch diese zur Seite hin, also kugelförmig ausge-

breitet wird und dadurch auch dem äußeren aufsteigenden Luftstrom viele Berührungspunkte darbietet. Durch diese Einrichtung wird wegen der Form der Flamme auch eine Formveränderung des Cylinders bedingt, der an seinem unteren Ende kugelförmig ausgebaucht ist. Auf diese Art erzielt man eine sehr vollständige Verbrennung und dadurch ein sehr helles und weißes Licht. Bei der Frankenstein'schen Solarlampe bewirkt man ein Gleiches durch Einschieben eines zweiten Dochtes von Spitzengrund innerhalb des runden. Der erstere ist mit Kreide überzogen und daher unverbrennlich.

Weniger gute Erfolge hat die Veränderung bewirkt, welche zuerst Deane in England mit dem Cylinder vornahm. — Benkler und Ruhl in Wiesbaden verpflanzten diese neue Einrichtung 1840 nach Deutschland. Die Form, welche sie dem Cylinder gaben, führt uns beistehende Figur vor. Der Cylinder wird hier aus zwei Glasstücken, einem weiteren a und einem engeren b zusammengesetzt. Die Eigenthümlichkeit ist ein etwas gewölbter Deckel von Blech, der auf dem unteren weiteren Theile ruht und gleichzeitig den Träger für den engeren Cylinder abgiebt. Beide Theile des Cylinders sind durch einen sogenannten Bajonetverschluß fest mit einander verbunden. Durch die plötzliche Verengung, die hier auf so eigenthümliche Weise bewirkt wird, verlängert sich die Flamme auf das Dreifache, wobei sie allerdings eine bedeutende Zusammenziehung erleidet. Der äußere und innere Luftstrom wirken hier auf das kräftigste zusammen und da jeder Ueberfluß von Luft ausgeschlossen ist, findet allerdings eine sehr vollständige Verbrennung statt. Ein kleines Experiment lehrt uns die hohe Temperatur dieser Flamme kennen. Ein Zinkstab schmilzt über der Oeffnung des Cylinders fast augenblicklich. Bei einer so bedeutenden Hitze muß allerdings die Flamme eine bedeutende Helle verbreiten, da sich hier die einzelnen Kohlentheilchen in einer vollständigen Weißglühhitze befinden. Das Licht besitzt eine außerordentliche Weiße, so daß es dem besten Gaslicht nicht nachsteht, weshalb man diese Lampen auch Gaslampen genannt hat. Die Lichtstärke ist zwar bis zu zwei Mal so groß wie die der anderen Lampen, dafür aber ist auch der Verbrauch an Oel um so größer, so daß also hier keine Verbesserung vorliegt.



Diesen Umstand hatte man bei den Versuchen, die der physikalische Verein zu Frankfurt a. M. veranlaßt wurde zu machen, ganz übersehen. Das vortheilhafte Zeugniß, welches man hier diesen Lampen ausstellte, bewirkte eine so große Verbreitung derselben, daß bereits gegen Ende 1841 monatlich 2400 Lampen dieser Art in der Fabrik zu Wiesbaden angefertigt wurden. Bald aber verschwand dieser Nimbus durch die sorgfältigen Versuche, welche Karmarsch und Heeren anstellten *) und zwar um so leichter, als die weiteren Versprechungen durchaus nicht von der Lampe geleistet wurden. Sie sollte nämlich geringere Oelsorten, ja selbst Thran vollständig und ohne Verkohlung des Dochtes verbrennen, was hier aber eben so wenig ausgeführt wurde, wie bei jeder anderen Lampe. Aus diesen Ver-

*) Dingler's polyt. Journ. LXXXVIII. S. 223.

suchen geht hervor, daß bei diesen Lampen, um gleich viel Licht hervorzubringen, eben so viel Oel verbraucht wird, als in gut eingerichteten gewöhnlichen Lampen. Nur bei Lampen in kleineren Dimensionen scheint eine etwas vortheilhaftere Verbrennung des Oeles stattzufinden, d. h. eine größere Lichterzeugung aus einem gleichen Gewicht Oel.

Wir haben hier noch die Lampe ohne Docht zu besprechen. Gewöhnlich besteht diese Lampe (s. beistehende Figur) aus einem Schälchen von Metall, in dessen Mitte ein offenes, enges Glasröhrchen eingekittet ist, so daß, wenn das Schälchen auf Oel schwimmt, das obere Ende des Röhrchens mit dem Oele ungefähr in einem Niveau liegt und das untere Ende in das Oel eintaucht. Das Röhrchen füllt sich daher bis zur Mündung mit Oel und dieses brennt daselbst, nachdem man es angezündet hat, ohne eines Dochtes zu bedürfen, mit einer Flamme, die an Helligkeit und Lebhaftigkeit die gewöhnlichen Nachtlampen weit übertrifft. Man verfertigt diese Vorrichtung auch aus Glas. Erfinder dieser Lampe ist Blackadeler, Mitglied der Königl. Gesellschaft in Edinburg, der verschiedene Constructionen dieser Lampe beschrieben hat *).



Beim ersten Auftreten hegte man große Erwartungen von dieser Lampe, die sich jedoch nicht bestätigt haben. Die Bedingungen, unter denen hier das Oel verbrennt, sind für die Beleuchtung die allerungünstigsten. Einmal ist die Flamme sehr dürftig und verbreitet daher nur ein sehr geringes Licht. Man darf nicht den Glauben hegen, daß man diesen Uebelstand durch eine weitere Röhre beseitigen könne; denn eine solche, sobald sie eine gewisse Grenze überschreitet, würde gar keine Verbrennung mehr zulassen. Zudem wird wegen des tiefen Standes der Flamme nur die Decke erleuchtet, aber nicht die untere Gegend des Zimmers.

Diese Lampe ist besser als eine jede andere geeignet zu zeigen, daß die Hitze, welche bei der Verbrennung fetter Substanzen entsteht, hinreicht zur Zersetzung der Fette, so daß dadurch andauernd Gas aus ihnen entwickelt wird, wodurch eben die Verbrennung unterhalten wird. Das Ende der Glasröhre ist in der That ein kleiner Kessel, in welchem das Oel durch die Flamme im Sieden erhalten und in Gas verwandelt wird. Nicht durch Capillarität, wie man wohl meint, sondern einfach in Folge des Gesetzes vom Gleichgewicht der Flüssigkeiten gelangt das Oel hierher, denn das Schälchen ist so beschwert, daß das Oel in der Röhre sich mit dem äußeren Niveau in Gleichgewicht setzen muß. Wollte man eine engere Röhre nehmen, so würde sich diese sehr bald durch Ablagerung von Kohle verstopfen und die Flamme verlöschen.

Die große Ausbreitung, welche die Lampen in dem kurzen Zeitraum, seitdem die Verbesserungen ins Leben traten, gefunden haben, kommt theilweise mit auf Rechnung der Chemie. Nicht allein, daß diese zum Theil eben lehrte, welcher Art die Verbesserungen sein mußten, sondern sie gab erst dadurch die Möglichkeit eines guten Gedeihens, daß sie lehrte das Oel zu reinigen und von den Bestandtheilen zu befreien, die einer vollständigen Verbrennung selbst bei der besten Construction hindernd im Wege standen. Die beste Methode, um das Rüböl von den Schleim-

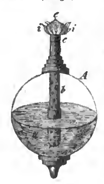
*) Edinb. new phil. Journ. Vol. I. p. 52.

theilen, durch welche die Capillarröhrchen der Dochte sehr bald verstopft werden, zu befreien, verdanken wir Thénard. Sie ist noch heute sehr allgemein im Gebrauch und besteht darin, dem Oel eine geringe Menge Schwefelsäure hinzuzusetzen und dann die Säure wiederum durch Waschen mit Wasser zu entfernen. Außer dem Rüböl werden noch mancherlei andere fette Oele zum Speisen der Lampen verwendet; mitunter sogar auch feste Fette, wie Schweineschmalz, Talg ꝛc.

In neuerer Zeit hat man statt der fetten Oele auch flüssige Kohlenwasserstoffe in den Gebrauch gezogen. Wegen ihres hohen Kohlenstoffgehaltes erfordern sie eigenthümliche Lampen mit einem bedeutenderen Luftzuge, denn ohne diesen würden sie mit stark rußender Flamme verbrennen. Das Licht ist natürlich ein bei weitem weißeres und vorzüglicheres. Als Brennmaterial verwendet man Terpentinöl, das durch Destillation mit einem gleichen Gewicht Wasser und dem hundertsten Theil des Gewichtes der ganzen Mischung frisch gelöschtem Kalk von seinem Harzgehalte befreit wird. Mit dem Camphin, wie man diesen Leuchtstoff nennt, destillirt zugleich auch Wasser über, das sich aber sehr bald sondert, so daß man das oben aufschwimmende Camphin mittelst eines Hebers abziehen kann. Die letzten Antheile des Wassers, welche dem Camphin ein trübes Ansehen verleihen, entfernt man durch Schütteln mit Löschpapier, wobei man 2 bis 3 Bogen auf jede 10 Pfd. nimmt. Gewöhnlich erhält man von 100 Th. Terpentinöl 90 bis 95 Th. Camphin, das, wenn es nicht wohl verkorkt aufbewahrt wird, mit der Zeit an Güte verliert. Die Zusammensetzung des Camphins besteht nach der Formel $C^5 H^4$ in 100 Th. aus 88,24 C und 10,76 H.

Die Lampen, in denen das Camphin verbrannt wird, sind unter dem Namen Younglampe, Imperial- oder Vestalampe aus England eingeführt. Sie vereinigen den stark verengten Cylinder, ähnlich dem bei den Benkler- und Ruhl'schen Lampen, mit dem Knopf der Liverpoollampe. Sie erfordern jedoch in ihrer Behandlung eine große Aufmerksamkeit. Ist z. B. der Docht nicht vollkommen gleich abgeschnitten, so setzt sich bei der Verbrennung eine große Menge Ruß ab. Durch diesen Umstand hat sich der Enthusiasmus, mit welchem sie bei dem ersten Auftreten in Deutschland aufgenommen wurden, bedeutend abgekühlt.

Lüdersdorff suchte diese Klippe dadurch zu umgehen, daß er den hohen Kohlenstoffgehalt des Terpentinöls durch Beimengungen veränderte. Hier dient starker Alkohol von 90 Proc. und zwar 4 Raumtheile desselben, wodurch der Kohlenstoffgehalt des Gemisches auf 63 Proc. oder das 5fache des Wasserstoffs herabgesetzt wird, während er im Camphin das 8fache des letzteren beträgt. Der Kohlenstoffgehalt ist hier zwar geringer wie beim Oel und Talg und daher auch die Lichtmenge aus einem gleichen Gewicht, der letztere Umstand wird jedoch durch die Schnelligkeit, mit der dieses Gemisch verdampft, wieder aufgehoben, indem hier in einer gleichen Zeit eine viel größere Menge zur Verbrennung gelangt, wodurch freilich die Kosten gesteigert werden.



Durch nebenstehende Figur wird die Einrichtung der Lüdersdorff'schen Dampflampen verdeutlicht. Man füllt hier die große Kugel A, durch welche ein messingenes Rohr b geht, mit der Mischung aus Terpentinöl und Alkohol. In dem Rohr befindet sich ein dicker Docht, der bis c geht und

dessen Dicke zu der Zahl der Flammen in einem bestimmten Verhältniß steht. Weiter ist auf dem Rohr ein hohler Knopf e befestigt, unter dem rund um das Rohr herum 8 bis 10 feine Löcher i i angebracht sind. Das Rohr ist seiner ganzen Länge nach mit solchen Löchern besetzt, um das Aufsteigen der Flüssigkeit in dem Docht zu erleichtern. Will man die Lampe anzünden, so erhitzt man das Rohr unterhalb c mit einer Spirituslampe; die Mischung verwandelt sich dadurch in Dampf, der aus den feinen Oeffnungen unterhalb des Knopfes ausströmt und sich entzündet. Die Wärmeleitungsfähigkeit des Metalles reicht hin, um die Dampfbildung aus der den Docht tränkenden Flüssigkeit und somit auch die Verbrennung zu unterhalten. Um die Erwärmung der Flüssigkeit selbst zu verhindern, umgiebt man den Brenner an seinem unteren Ende mit einem Rohre, das einen guten Viertelzoll weiter und unten durch einen kranzförmigen Boden mit dem ersteren vereinigt ist, so daß also die Flüssigkeit selbst den Brenner von außen nicht berührt. Mitunter ist das Rohr auch selbst an einer unteren Stelle mit einer Schale umgeben, die man mit Alkohol füllt und diesen entzündet, um so die Verbrennung einzuleiten. Wegen der Kostspieligkeit hat diese Art der Beleuchtung keine große Verbreitung gefunden, wenn schon sie ein schönes Licht liefert und hier alle Unbequemlichkeiten der gewöhnlichen Dochtlampen aufgehoben sind.

Die allgemeine Verbreitung der Gasbeleuchtung in England hat Veranlassung gegeben zu einer fabrikmäßigen Verarbeitung des bei der Darstellung des Leuchtgases in großer Menge abfallenden Theeres. Man gewinnt daraus durch Destillation eine Reihe flüssiger Kohlenwasserstoffe, deren erstes Glied das Benzol $C^{12}H^{6}$ liefert. Diese Kohlenwasserstoffe benutzt man gleichfalls zur Beleuchtung und zwar in einem solchen Maße, daß man sie selbst in England und Belgien eigens aus Steinkohlen darstellt. Aehnliche Producte gewinnt man in Frankreich aus dem bituminösen Schiefer. Zu ihrer Verbrennung dienen gleichfalls dochtlose Lampen, die von Beale und d'Hanens construirt sind. Beide Lampen werden mittelst eines Blasebalges durch einen Luftstrom von beträchtlicher Schnelligkeit gespeist, der bei der ersteren, die mit einer einzigen Flamme brennt, das Oel durchstreicht und sich mit dem Dampf desselben beladet. Die andere Lampe hat eine ähnliche Einrichtung wie die Lüdersdorff'sche. Das Licht beider Lampen ist blendend weiß und trotz des unangenehmen Geruches der Theeröle verbrennen sie vollständig geruchlos; nur beim Auslöschen macht sich der durchdringende Geruch für kurze Zeit bemerklich. Und deshalb sagt Knapp in seinem 1844 erschienenen Lehrbuch der Technologie Bd. I. S. 130, daß sich diese Art der Beleuchtung wohl für Straßen und Werkstätten, aber nicht für Zimmer eigne.

Wenige Jahre haben indessen hingereicht, um dieser neuen Beleuchtungsart auch bei uns eine weite Verbreitung zu verschaffen, ja sie droht sogar binnen Kurzem bei uns eine vollständige Revolution in der bisherigen Beleuchtungsweise hervorzurufen. Bis jetzt haben wir nur zwei Fabriken in Deutschland, welche diese flüssigen Kohlenwasserstoffe darstellen. Die eine ist die Augustenhütte zu Beuel bei Bonn (Wiesmann u. Comp. gehörig), die andere ist von einer französisch-deutschen Gesellschaft in Hamburg errichtet; beide wurden auf der allgemeinen deutschen Ausstellung zu München (1854) mit der großen Denkmünze ausgezeichnet. Die erstere verarbeitet täglich 150 Tonnen Blätterkohle, die in der Nähe des Siebengebirges in vereinzelten Flötzablagerungen in einer Mächtigkeit von $2^1/_2$ bis 10' vorkommt und im Durchschnitt 11,73 Pfund dieser leichten Kohlenwasserstoffe

(Hydrocarbür, Photogène, Mineralöl) liefern soll. Trotz der kurzen Zeit des Bestehens dieser Anlage und der Schwierigkeiten, mit denen jeder neue Industriezweig zu kämpfen hat, ist die Nachfrage so groß, daß man damit umgeht, die Fabrik bis zu einer täglichen Verarbeitung von 500 Tonnen Rohmaterial zu vergrößern. Die Hamburger Fabrik arbeitet schon jetzt in einem weit großartigeren Maßstabe. Das Rohmaterial ist hier die bekannte schottische Boghead Coal.

Ein großes Verdienst für die schnelle Ausbreitung dieser neuen Beleuchtungsart hat sich die bekannte Fabrik von C. H. Stobwasser u. Comp. in Berlin durch die Anfertigung vorzüglicher Lampen für das neue Beleuchtungsmaterial erworben, so daß dieses sich nicht allein in den Wohnzimmern das Bürgerrecht erworben, sondern sogar in den Salons festen Fuß gefaßt hat. Das Mineralöl liefert ein sehr schönes Licht und die Ersparung an der Geldausgabe ist gleichzeitig nicht unbeträchtlich, so daß jeder die neue Beleuchtungsart für die vorzüglichste erklärt, deren er sich bis jetzt bedient habe. Aus genauen Versuchen hat sich ergeben, daß bei verschiedenen Lampen folgende Resultate erzielt werden:

für 6 Pfennige Oelconsum pro Stunde Lichtmenge gleich 16 Kerzen
„ 4 „ „ „ „ „ „ 10 „
„ $2^1/_2$ „ „ „ „ „ „ 6 „
„ $1^1/_2$ „ „ „ „ „ „ 3 „

Es scheint demnach, daß das Mineralöl berufen sei selbst den Vorwurf zu entkräften, den man bis jetzt der Wissenschaft macht, daß nämlich alle Verbesserungen, die sie in die Beleuchtung eingeführt habe, nur dem Bemittelten und nicht dem Armen zu Gute kämen. Einer wie großen Zukunft diese neue Beleuchtungsart entgegen geht, erkennt man daraus, daß der Preiscourant der oben genannten Fabrik von 1854 nicht weniger denn 196 verschiedene Sorten Mineralöllampen im Preise von einem bis zu 125 Thlr. pro Stück aufführt, eine bedeutend größere Zahl als für das gewöhnliche Oel, während wir im Ganzen nur 8 verschiedene Lampen für Gasäther aufgeführt finden. Hiernach erscheint die Einbürgerung der neuen Beleuchtung in jedes Haus und für alle nur erdenkbaren Arten der Anwendung völlig gesichert. Fürs erste jedoch war keine Aussicht vorhanden, daß dies je in Erfüllung gehen würde. Das Material, welches die Bonner Fabrik verarbeitet, kommt nur selten in der Natur vor und dann erklärte man öffentlich, daß eben nur dies zur Gewinnung der Oele geeignet sei. S. a. d. Art. Paraffin. W. B.

Landrauch, s. Höhenrauch.

Landregen, s. Regen.

Landtrombe, s. Wettersäule.

Laterne, magische, s. Zauberlaterne.

Laugensalz, s. Alkali.

Lebensluft, s. Sauerstoff.

Leere, Toricellische, s. Barometer; Boyle'sche Leere, s. Luftpumpe.

Legirung, Alliages, Alloys of metalls, nennt man die mannigfaltigen Verbindungen der Metalle unter einander, die man durch Zusammenschmelzen derselben erhält. Die Verbindungen des Quecksilbers mit anderen Metallen führen jedoch den Namen Amalgame. Eine andere Ausnahme in der Benennung machen die Verbindungen der stark elektronegativen Metalle mit den elektropositiveren, die in der Regel nach bestimmten Verhältnissen vor sich gehen.

Sie haben große Aehnlichkeit mit den Schwefel- und Phosphormetallen und werden daher auch auf ähnliche Weise benannt (Antimon-, Tellur-Metalle, z. B. Tellur-Wismuth, Antimon-Blei ꝛc.). Da die Verhältnisse dieser Verbindungen oft der Art sind, daß sie sich durch Oxydation in Sauerstoffsalze verwandeln lassen, so kann man umgekehrt durch Reduction auch diese in jene verwandeln. Es ist jedoch nicht zu verkennen, daß auch in den Verbindungen, für die der Name Legirung übrig bleibt, eben so wie hier bestimmte Mischungsverhältnisse nach Aequivalenten auftreten, daß also auch hier die Vereinigung eine wirklich chemische ist. Zu dieser Annahme berechtigen uns die auffallenden Veränderungen, welche die Metalle durch diese Vereinigung in ihren physikalischen Eigenschaften erlangen. Am meisten fällt dies bei der Farbe in die Augen. So giebt z. B. das rothe Kupfer mit dem weißen Zink das goldgelbe Messing. Durch Zink und Nickel wird die rothe Farbe des Kupfers ganz aufgehoben, eben so die gelbe des Goldes durch eine geringe Menge Silber. Durch einen Umstand aber wird das Gesetzmäßige in diesen Verbindungen verdeckt. Sie lassen sich nämlich, eben so wie die Verbindungen der Metalle mit Nichtmetallen, in jedem beliebigen Verhältniß sowohl unter sich, wie auch mit Metallen zusammenschmelzen und daher gelingt es schwierig oder auch gar nicht die Verbindungen in bestimmten Verhältnissen von den übrigen Beimengungen zu sondern. Bei einigen Mischungen gelingt es jedoch, indem sich bei langsamem Erkalten größerer Mengen Verbindungen in bestimmten stöchiometrischen Verhältnissen krystallinisch aussondern. Solche Verbindungen aus Kupfer und Zinn und Kupfer und Zink bestehend hat Croockewit *) dargestellt. Auch von Anderen sind die Verhältnisse näher studirt worden; so von Rieffel **) und Levol ***).

Rudberg hat gefunden ****), daß die Abnahme der Temperatur beim Erkalten der Legirungen, sobald dieselben eben nicht nach stöchiometrischen Verhältnissen zusammengeschmolzen sind, sondern eines der Metalle im Ueberschuß enthalten, nicht regelmäßig vor sich geht. Dieser Ueberschuß, der, so lange die Masse flüssig ist, mit der chemischen Legirung mechanisch gemischt bleibt, geht bei der Abkühlung früher in den festen Zustand über, als die chemische Verbindung selbst. Hierbei tritt er seine latente Wärme ab, und dadurch wird veranlaßt, daß das Thermometer einige Zeit auf einem Punkt, der oberhalb der Erstarrungstemperatur der Legirung liegt, verweilt. Je größer der Ueberschuß des einen Metalles in der Mischung ist, bei einer desto höheren Temperatur erfolgt dieser Uebergang in den festen Zustand. Das erstarrte Metall bleibt jetzt mechanisch vertheilt in der noch fließenden Legirung, bis auch diese erstarrt und ihre latente Wärme abgiebt, wodurch dann das zweite und immer auf demselben Grad erfolgende Stillstehen des Thermometers hervorgebracht wird. Bei Legirungen aus drei Metallen giebt es statt des einen beweglichen Punktes, bei welchem das Thermometer eine Zeit lang stehen bleibt, deren zwei. In Bezug auf letztere haben A. F. und L. F. Svanberg weitere

*) Specimen chemicum de conjunctionibus chemicis metallorum. Amstelodami 1848. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXVI. S. 289.

**) Compt. rend. T. XXXVII. p. 450.

***) Journ. de Pharm. T. XVII. p. 111 und Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXXIX. p. 460.

****) Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 240.

Untersuchungen angestellt *). Bei Legirungen, die genau nach stöchiometrischen Verhältnissen gebildet worden sind, fand Rudberg nur einen Erstarrungspunkt und hielt er solche Verbindungen daher für stabil. Person hat nun aber gezeigt **), daß auch diese sich nach der Erstarrung freiwillig zersetzen. Bei der d'Arcet'schen Legirung ($Pb^2 Sn^2 Bi^3$) findet nach der Erstarrung eine gleichmäßige Abnahme der Wärme bis gegen 57° hin statt; dann steht das Thermometer plötzlich still und steigt sogar um 1 oder 2°. Die Legirung dehnt sich nun so bedeutend aus, daß ein Cylinder von dünnem Kupfer, in welchen man die Legirung gegossen hat, zerreißt. Die ungemeine Langsamkeit der weiteren Erkaltung führt auf eine andauernde Wärmeentwickelung. Kühlt man die Legirung plötzlich, z. B. durch Eintauchen in kaltes Wasser ab, so sinkt die Temperatur selbst unter 57°, ohne daß die Zersetzung Zeit hat einzutreten. Diese bleibt aber nicht aus, sondern tritt vielmehr mit größerer Energie hervor, d. h. in weit kürzerer Zeit, so daß nun eine bedeutende Temperaturerhöhung wahrzunehmen ist, z. B. von 36 bis auf 70°. Diese Erscheinung ist ein guter Versuch für Vorlesungen; besitzt der Cylinder einen Durchmesser von 3 bis 4 Centimeter, so können die ersten Personen, die ihn anfassen, ihn unbeschadet in die Hand nehmen, während die folgenden sich die Finger daran verbrennen.

Die Thatsache dieser freiwilligen Erhitzung nach einer plötzlichen Erkaltung war schon früher bekannt. Berzelius erklärte sie durch die Annahme, daß das Innere noch flüssig sei, wenn bereits das Aeußere erkaltet ist. Hiernach wäre die latente Wärme, welche durch die Erstarrung des flüssigen Theiles entwickelt wird, die Ursache der Temperaturerhöhung. Warrington hat indessen gezeigt, daß Inneres und Aeußeres gleichmäßig erkalten. Ueberdies hat er eine merkwürdige Aenderung des Gefüges nach der Wärme-Entwickelung nachgewiesen; während der Bruch zuvor vollkommen glänzend, war er nun ganz matt.

Die Rose'sche Legirung verhält sich eben so. Viel weniger stabil sind die Legirungen $Bi^3 Pb^2$ und $Bi^3 Sn^7$; hier tritt die Zersetzung sogleich bei der Erstarrung oder unmittelbar hinterher ein. Hiernach scheint es Person, daß die Verbindungen zwischen den Metallen nur eine momentane, auf gewisse Temperaturen beschränkte Existenz besitzen, wenigstens im starren Zustande, so daß er es für zweifelhaft hält, ob diese Legirungen, nach der vollständigen Erkaltung etwas anderes als bloße Gemenge seien.

Zumeist bilden sich beim langsamen Erkalten der geschmolzenen Legirungen mehrere Verbindungen in bestimmten Verhältnissen. Diese kann man mehr oder weniger vollständig dadurch trennen, wenn man die Legirung längere Zeit einer höheren Temperatur aussetzt, die nur ganz allmälig bis nahe an den Schmelzpunkt derselben gesteigert wird. So beobachtet man z. B. bei den Sicherheitsventilen der Dampfkessel, die aus leicht schmelzbaren Legirungen bestehen, daß unter diesen Umständen eine leichtflüssige Legirung von stets gleicher Zusammensetzung herausgetrieben wird, während der Rest der Legirung noch fest bleibt. Dieses Verhalten giebt Gelegenheit manche Metalle auf leichte Weise von einander zu trennen. Besteht nämlich eine Legirung aus zwei Metallen, deren Schmelzpunkte weit von

*) Pogg. Ann. Bd. XXVI. S. 280.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 588.

einander entfernt liegen und deren Verwandtschaft zu einander nicht sehr groß ist oder überwiegt das leichter schmelzende der Menge nach das schwerer schmelzende bedeutend, so gelingt diese Trennung sehr leicht. Es bleibt dabei nur ein kleiner Antheil des ersteren mit dem letzteren zurück. Solche Operationen kommen bei der Ausbringung der Metalle im Großen oft in Anwendung; man nennt sie das Saigern.

Nicht alle Metalle verbinden sich unter einander zu Legirungen. Metalle, die sich mit vielen anderen zusammenschmelzen lassen, kann man mit einzelnen Metallen nicht vereinigen. So verbindet sich z. B. das Silber, das sich mit Gold, Kupfer und Blei in allen Verhältnissen legirt, mit Eisen nur in fast verschwindender Menge. Auch Zink und Blei vereinigen sich nur bei Zusatz von Zinn zu einer gleichmäßigen Legirung. Schmilzt man Metalle zusammen, die eine große Verschiedenheit in ihrem spec. Gewicht besitzen, so kann eine gleichmäßige Vereinigung nur durch anhaltendes Umrühren erzielt werden, weil sich sonst das schwerere Metall mehr zu Boden setzt und dann die Legirung ungleich ausfällt. Einige Legirungen kommen auch in der Natur vor. Es sind dies besonders die oben bereits angeführten Verbindungen der stark elektronegativen Metalle mit den elektropositiveren und außerdem besonders noch Verbindungen von Gold mit Silber und Silber mit Blei. Auch das gediegene Platin bildet eine sehr zusammengesetzte Legirung.

Wie bei der Farbe sind auch die übrigen physikalischen Eigenschaften der Legirungen nicht immer das mittlere Resultat aus denen der einzelnen Bestandtheile. Die Härte ist meist größer als die der einzelnen Metalle. Eben so schmelzen sie bei einer weit niederern Temperatur, als man nach dem Schmelzpunkt der einzelnen Gemengtheile erwarten sollte. Der Schmelzpunkt einer Legirung ist sogar häufig niedriger als der Schmelzpunkt des am leichtesten schmelzenden, in der Mischung enthaltenen Metalls. So schmilzt das Blei bei 325°

Wismuth bei 265°

Zinn . . bei 228°.

Und doch schmilzt eine Legirung aus 5 Th. Blei, 3 Th. Zinn und 8 Th. Wismuth bereits bei 95°, also unter dem Kochpunkt des Wassers.

Aehnliches findet auch in Bezug auf das spec. Gewicht der Legirungen statt. In der Regel ist es größer, als das Mittel aus den spec. Gew. der einzelnen Bestandtheile; meistens erfolgt also hier, wie bei jeder chemischen Vereinigung zweier Körper, eine Verdichtung. Aber solches tritt nicht immer ein. Es existirt auch eine ganze Reihe von Legirungen, bei denen der umgekehrte Fall eintritt, mithin die Dichtigkeit eine geringere ist als die mittlere Dichtigkeit der Metalle, aus denen sie bestehen. Früher glaubte man aus dem spec. Gew. der Legirung und dem der einzelnen Metalle die Mengenverhältnisse der einzelnen Bestandtheile berechnen zu können; dies ist jedoch nicht der Fall.

Bei der Verbindung der einzelnen Bestandtheile während des Schmelzens wird oft eine beträchtliche Menge Wärme frei; so z. B. beim Zusammenschmelzen von dünnen Blättchen Platin und Zinn. Dasselbe tritt auch beim Mischen zweier für sich geschmolzener Metalle ein; bei Blei und Wismuth erhöht sich die Temperatur um 30° und beim Mischen von 70 Th. geschmolzenem Kupfer und 30 Th. geschmolzenem Zink findet eine so bedeutende Temperaturerhöhung statt, daß ein Theil der Mischung förmlich umhergeschleudert wird.



Im Allgemeinen sind die Legirungen weniger gute Leiter der Elektricität und Wärme als die einzelnen Metalle, aus denen sie bestehen. Ueber das Verhalten der Metallmischungen in der Thermokette hat neuerdings Rollmann ausführliche Untersuchungen angestellt *); eben so Wertheim über die Elasticität und Cohäsion der Legirungen **).

Sehr oft werden erst die in den Gewerben verwendeten Metalle durch den Zusatz eines anderen zu bestimmten Zwecken verwendbar und darauf beruht die mannichfaltige Verwendung und die große Wichtigkeit, welche die Legirungen für die Technik erlangt haben. Wie bedeutend die Eigenschaften der Metalle oft durch nur einen geringen Zusatz eines anderen Metalles in Bezug auf Härte, Sprödigkeit, Dehnbarkeit, Zähigkeit, Glanz, Farbe, Politurfähigkeit rc. verändert werden, wollen wir hier nur an einigen Beispielen erläutern. Kupfer ist für sich sehr dehnbar und leicht mit dem Hammer zu bearbeiten, aber es besitzt keine große Härte. Diese wird ihm durch einen Zusatz von Zink ertheilt, wobei die Dehnbarkeit nicht ganz verloren geht. Das Messing, wie bekanntlich diese Legirung genannt wird, läßt sich aber wieder nicht feilen und diesem Uebelstande hilft man durch die Beimengung von 2 bis 3 Proc. Blei oder Zinn ab. Ein anderes interessantes Beispiel geben uns die Buchdruckerlettern. Man findet kein Metall, welches die Eigenschaften in sich vereinigt, die hier gefordert werden. Der Guß der Lettern fordert leichte Schmelzbarkeit, die Schärfe des Druckes ein genaues Ausfüllen der Formen; ferner muß das Metall hart sein, damit die Lettern sich beim Gebrauch nicht zu stark abnutzen, aber nicht spröde, damit jene unter der Presse nicht leicht zerbrechen. Alle diese Bedingungen erfüllt am Besten eine Legirung von Antimon und Blei.

Die für die Technik wichtigen Legirungen findet man bei den betreffenden Metallen oder in selbstständigen Artikeln abgehandelt. Hier wollen wir nur bemerken, daß man in Bolley's Handbuch der technisch-chemischen Untersuchungen (Frauenfeld 1853) S. 238 eine nach Qualität und Quantität geordnete Zusammenstellung von 100 der bekannteren technisch gebrauchten Legirungen findet; und eben so auf S. 190 eine Anweisung zur Untersuchung der Legirungen auf ihre Bestandtheile. W. B.

Leidenfrost'scher Versuch, s. Dampf und Wärme.

Leidner Flasche, s. Flasche, elektrische.

Leiter der Elektricität. Im Artikel Elektricität ist die Thatsache hervorgehoben worden, daß es Körper giebt, welche die ihnen mitgetheilte oder sonst in ihnen hervorgerufene Elektricität durch ihre Masse oder vielmehr auf ihrer ganzen Oberfläche mit einer enormen Geschwindigkeit verbreiten, während andere Körper den elektrischen Zustand mit einer gewissen Schwierigkeit von außen her annehmen und denselben eben so schwierig oder wohl auch gar nicht auf ihrer Oberfläche fortpflanzen. Man nennt jene Körper gute Leiter, diese schlechte Leiter der Elektricität, und wenn letztere das sie charakterisirende Merkmal in einem besonders hohen Grade darbieten, auch Nichtleiter oder Isolatoren. Der

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIII. S. 77. u. Bd. LXXXIV. S. 275.

**) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XII. p. 581. Pogg. Ann. Ergänzungsb. II. S. 73.

Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern der Elektricität ist jedoch nur ein relativer, indem selbst gute Leiter eine Elektricität von sehr schwacher Spannung zu isoliren und Nichtleiter stark gespannte Elektricität gewissermaßen zu leiten vermögen. Es giebt weder einen durchaus vollkommenen Leiter noch einen durchaus vollkommenen Isolator der Elektricität. So schnell auch die Fortpflanzung der Elektricität in guten Leitern geschieht, so ist sie doch nicht unendlich groß, sondern es findet eine durch die Natur der Körper bedingte Verzögerung derselben statt, welche auf den Begriff eines Leitungswiderstandes führt. Dieser Leitungswiderstand ist seiner Größe nach, je nach der materiellen Beschaffenheit der Körper ein anderer und hängt außerdem von der Länge und Dicke des als Leiter angewendeten Körpers ab; auch hat die Temperatur einen merklichen Einfluß auf die Größe des Leitungswiderstandes eines Körpers, in einer Weise, die weiter unten genauer angegeben werden soll. Das elektrische Leitungsvermögen der Körper steht nun jedenfalls im umgekehrten Verhältnisse mit dem Leitungswiderstande.

Um ungefähr zu prüfen, ob irgend ein Körper ein Isolator oder ein Leiter sei, braucht man ihn nur mit einem bereits elektrischen Körper zusammen zu bringen. Berührt man letzteren mit einem Leiter, so sucht sich auf diesem die Elektricität desselben überall zu verbreiten, und wenn nun die Oberfläche des Leiters im Verhältnisse zum elektrischen Körper sehr groß ist, so nimmt die elektrische Spannung im Verhältnisse zum ableitenden Umfang des Leiters ab, und dieselbe kann bei unverhältnißmäßiger Größe des letzteren bis zur Unmerklichkeit verschwinden. Dies findet statt, wenn man den elektrischen Körper durch einen anderen Leiter oder unmittelbar mit der Erde in Verbindung setzt. Auch der menschliche Körper ist ein Leiter der Elektricität, wie wir schon daraus sehen, daß, wenn wir auf dem Erdboden stehend, einen elektrischen Körper berühren, dieser seine Elektricität verliert. Wollen wir nun irgend einen Körper prüfen, ob er ein Leiter der Elektricität sei oder nicht, so dürfen wir denselben nur in die Hand nehmen und das andere Ende desselben dem Conductor einer Elektrisirmaschine bis zur Berührung nähern. Springt zwischen diesem letzteren und dem genäherten Körper ein starker, von einem Knalle begleiteter Funke über, und zeigt sich, wenn Berührung stattgefunden, der Conductor seiner Elektricität beraubt, so ist der in der Hand gehaltene Körper ein Leiter der Elektricität. Man kann auch zu dieser Prüfung sich eines mit Elektricität geladenen Elektrometers bedienen. Die Korkkügelchen oder Strohhalme oder Goldblättchen des Elektrometers divergiren, so lange das Elektrometer geladen ist. Berührt man nun die Platte oder den Knopf des Elektrometers mit einem Leiter der Elektricität, so fallen die Korkkügelchen ꝛc. alsbald zusammen, und gehen nach Entfernung des genäherten Körpers nicht wieder aus einander. Bei Berührung mit einem Isolator wird dagegen die Divergenz der Elektrometerpendel entweder gar nicht oder doch in viel geringerem Grade aufgehoben. — Wenn man eine geladene Leidner Flasche (s. d. Art.) entladen will, so muß man die äußere Belegung derselben mit der innern durch einen oder mehrere mit einander verbundene leitende Körper in Verbindung setzen. Nimmt man in diesen Entladungskreis einen Nichtleiter auf, so findet entweder die Entladung gar nicht statt, oder wenn sie vor sich geht, wird jener Nichtleiter zerstört, zerschmettert oder durchbohrt, während vollkommen die Entladung bewirkende Leiter von nicht zu geringen Dimensionen dem äußeren Anscheine nach unversehrt bleiben. Auf gleiche Weise kann man auch einen Körper, um ihn hinsichtlich seiner Leitungs-

fähigkeit im Allgemeinen zu prüfen, in den Verbindungskreis zwischen den Polen einer Volta'schen Säule bringen. Ist in diesem Kreise zugleich eine Gasentbindungsröhre oder ein Multiplicator eingeschaltet, so hört, wenn der eingebrachte Körper ein Isolator ist, alsbald die Wirkung des Stromes auf die Gasentbindung oder die Magnetnadel auf.

Unter den festen Körpern haben sich als die besten Leiter der Elektricität im Allgemeinen die Metalle erwiesen, und man ist daher bemüht gewesen, zunächst die Metalle nach der Größe ihres Leitungswiderstandes oder ihres Leitungsvermögens zu ordnen. Die ersten hierher gehörigen Versuche wurden von Priestley, van Marum, Children, Harris und Davy theils mit Leidner Batterien, theils mit galvanischen Apparaten angestellt. Van Marum *) untersuchte, wie viele Zoll gleich dicken Drahtes von verschiedenen Metallen durch eine stets gleich große Ladung einer Leidner Batterie geschmolzen werden konnten. Priestley **) und Children ***) stellten die Versuche so an, daß sie immer gleich lange und gleich dicke Drähte von verschiedenem Metalle zusammen backten und durch diese Verbindung der erste eine Leidner Batterie, der zweite einen galvanischen Apparat ihre Elektricität ergießen ließen. Hierbei wurde der schlechter leitende Draht geschmolzen und zerstreut, während der besser leitende dem Anschein nach unverletzt blieb. Als Vergleichungsmittel liegt diesen Versuchen die Thatsache zu Grunde, daß Drähte, durch welche sich eine Leidner oder galvanische Batterie entladet, um so stärker sich erhitzen, je schlechter ihr Leitungsvermögen ist.

Harris ****) suchte auf ähnliche aber genauere Weise die Leitfähigkeit der Metalle aus der Wärmemenge zu bestimmen, welche beim Durchgange der gleichen Entladungen einer Batterie durch Metalldrähte von gleicher Länge und Dicke erzeugt wird. Die Metalldrähte wurden nach einander horizontal in einem Glasballon von 3 Zoll ausgespannt und an ihren Enden mit einer Leidner Batterie verbunden. Der mit Luft gefüllte Ballon ruhte mit seinem Halse auf einem Behälter, welcher Weingeist enthielt und mit einem Haarröhrchen in Verbindung stand, dessen längerer Arm senkrecht in die Höhe ging. So wie nun die Elektricität durch den eingespannten Draht geleitet wurde, theilte dieser seine Wärme im Ballon der Luft mit, welche sich demgemäß ausdehnte und den Weingeist in der Röhre emportrieb. Aus der verschiedenen Höhe, bis zu welcher der Weingeist bei Anwendung der Drähte von verschiedenen Metallen empor getrieben wurde, entnahm Harris Zahlenbestimmungen zur Vergleichung des Leitungsvermögens der Metalle.

Weitere Versuche über die Leitfähigkeit verschiedener Körper stellte Cavendish *****) an, der auch den Einfluß bestimmte, welchen die Dimensionen eines Leiters auf sein Leitungsvermögen ausüben. Derselbe hat jedoch die von ihm befolgte Methode nicht genauer angegeben.

Davy bediente sich bei seinen Versuchen über die Leitfähigkeit verschiedener

*) Première Continuation etc. Haarlem 1787. p. 16. 166.
**) Geschichte der Elektricität. S. 486.
***) Gilb. Ann. Bd. XXXVI. S. 364.
****) Phil. Transact. for 1827. p. 18. Pogg. Ann. Bd. XII. S. 2. 279.
*****) Phil. Transact. 1776. Vol. LXXVI.

Metalle galvanischer Tragapparate und bestimmte die Anzahl der Plattenpaare, welche von verschiedenen Metalldrähten bei gleicher Länge und gleichem Durchmesser vollständig entladen werden konnten. Von derselben Batterie gingen gleichzeitig feine Silberdrähte in eine Gasentbindungsröhre, wo dann das völlige Ausbleiben aller Gasblasen die vollständige Entladung anzeigte. Auch schloß er eine Säule aus einer gewissen Anzahl von Plattenpaaren gleichzeitig durch zwei verschiedene Bogen, von denen der eine einen Wasserzersetzungsapparat enthielt, während der andere aus dem Drahte bestand, dessen Leitungsvermögen untersucht werden sollte. Sobald die Schließung durch zwei Bögen geschieht, theilt sich der elektrische Strom nach dem Verhältnisse des Leitungsvermögens der Bögen zu einander in diese. Das Leitungsvermögen eines Bogens nimmt aber zu, je mehr derselbe verkürzt wird. Davy verkürzte nun den schließenden Draht so lange, bis sein Leitungsvermögen das des Bogens, welcher den Wasserzersetzungsapparat enthielt, so überwog, daß die Wasserzersetzung merklich zu sein aufhörte. Ein je besserer Leiter der Elektricität ein Metall war, desto länger ergab sich der gesuchte Bogendraht von demselben. Alle Drähte hatten hierbei dieselbe Dicke.

Davy fand nun, daß die Leitung der Metalldrähte (unter sonst gleichen Umständen) im umgekehrten einfachen Verhältniß der Länge derselben steht, und bei gleicher Länge im geraden Verhältniß mit ihrer Masse.

Becquerel sen. *) wandte später eine genauere Methode an, die als eine Verbesserung der zweiten von Davy benutzten angesehen werden kann. Derselbe construirte einen Multiplicator aus zwei gleich beschaffenen Drähten, indem er zwei gleiche mit Seide übersponnene Kupferdrähte zusammen in gleichem Sinne um einen hölzernen Rahmen wand, und die vier Enden dieser Drähte in vier mit Quecksilber gefüllte Schälchen tauchte. In den letzteren führten noch vier andere Drähte von gleicher Beschaffenheit, von denen zwei mit dem einen Pol, die beiden anderen mit dem entgegengesetzten Pol einer Volta'schen Kette verbunden waren. Diese Verbindung war nun von der Art, daß der elektrische Strom, indem er sich auf die beiden Arme des Multiplicators vertheilte, dieselben in entgegengesetzter Richtung durchlief. In diesem Falle konnte keine Ablenkung der Magnetnadel im Multiplicator erfolgen, in sofern die Stromstärke in beiden Zweigdrähten von gleicher Größe war. Wurde aber in den einen Arm des Multiplicators ein Draht von irgend einem anderen Metall eingeschaltet, so mußte, weil jetzt (vermöge der Veränderung des Leitungswiderstandes in diesem Arme) eine ungleiche Einwirkung beider Arme auf die Magnetnadel stattfand, eine Ablenkung der letztern erfolgen. Becquerel verkürzte oder verlängerte nun den anderen Arm so lange, bis die Wirkungen beider Arme auf die Nadel sich wieder das Gleichgewicht hielten. In dieser Weise ließ sich das Leitungsvermögen verschiedener Metalldrähte mit Rücksicht auf ihre Dimensionen ermitteln. Wenn z. B. der eine Arm nach Einschaltung eines Metalldrahtes von 1 Decimeter Länge dieselbe Stromstärke darbietet als in dem Falle, wo ein gleich dicker Kupferdraht von 3 Decimeter Länge eingeschaltet ist, so erscheint die Leitfähigkeit des Kupferdrahtes dreimal größer als die des anderen Drahtes. Becquerel brachte bei seinen Versuchen alle Drähte auf die Temperatur des schmelzenden Eises.

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXII. p. 420. Pogg. Ann. Bd. VIII. S. 356.

Eine ähnliche Vorrichtung wie Becquerel gebrauchte auch Pouillet *) zu Versuchen über die Leitfähigkeit der Metalle. Durch die beiden Arme des Multiplicators wurden aber die Ströme zweier Thermoketten geleitet, von welchen die eine einen Meßdraht von Platin, und die andere den zu untersuchenden Draht eingeschaltet enthielt. Pouillet machte darauf aufmerksam, daß die Reinheit der Metalle von großer Bedeutung für ihr Leitungsvermögen sei. So ist nach ihm die Leitfähigkeit des reinen Goldes beinahe sechsmal größer als die des 18karätigen. In den folgenden Tabellen sieht man das Leitungsvermögen der Metalle nach den Versuchen von Becquerel und Pouillet zusammengestellt.

	Becquerel sen.		Pouillet
Kupfer	100,00	Quecksilber, destillirt . . .	100
Gold	93,60	Eisen	600
Silber	73,60		700
Zink	28,50	Gußstahl	500
Platin	16,40		800
Eisen	15,80	Messing	900
Zinn	15,50		200
Blei	8,30	Platin	855
Quecksilber . . .	3,45	Kupfer, ausgeglüht . . .	3842
Kalium	1,33	" rein	3838
		Gold von 0,751 Feingehalt .	714
		" " 0,951 " .	1338
		Gold, rein	3975
		Silber von 0,747 Feingehalt .	3882
		" " 0,857 " .	4221
		" " 0,900 " .	4753
		" " 0,963 " .	5152
		Palladium	5791

Davy hat zuerst nachgewiesen, daß das Leitungsvermögen der Metalle abnimmt, wenn ihre Temperatur wächst. Doch steht die Abnahme des Leitungsvermögens nicht in gleichem Verhältnisse mit der Zunahme der Temperatur. Um dies nachzuweisen, bediente er sich der oben (S. 425) angegebenen Methode, durch welche er die Leitfähigkeit der Metalle zu bestimmen suchte. Er fand, daß ein 3 Zoll langer und $^1/_{220}$ Zoll dicker Platindraht, unter Oel kalt erhalten, die Elektricität zweier galvanischer Batterien vollständig zu entladen vermochte, während derselbe in der Luft, worin er durch die Entladung erhitzt wurde, nur eine Batterie entladen konnte. Dasselbe zeigt sich, wenn die Erhitzung durch eine andere Ursache bewirkt wird. Davy stellte noch folgenden Versuch an, um den schwächenden Einfluß der Temperaturerhöhung auf das Leitungsvermögen darzu-

*) Traité, Edit. III. T. I. p. 584.

thun. Hat man in einem Volta'schen Schließungskreise einen 4 bis 5 Zoll langen, so dünnen Platindraht angebracht, daß die Elektricität, welche durch ihn hindurchgeht, ihn in seiner ganzen Länge rothglühend macht, und bringt nun irgend einen Theil desselben durch die Flamme einer Spirituslampe, welche man darunter hält, zum Weißglühen, so erkaltet augenblicklich der Ueberrest des Drahtes bis unter die Temperatur des sichtbaren Glühens. Durch die weißglühende Stelle wird nämlich der elektrische Strom so sehr geschwächt, daß er nicht mehr im Stande ist, den Draht rothglühend zu erhalten. Hält man umgekehrt an irgend eine Stelle des rothglühenden Drahtes ein Stück Eis oder treibt auf sie einen Strom kalter Luft, so werden augenblicklich alle anderen Theile des Drahtes viel heißer und kommen vom Rothglühen zum Weißglühen, weil die bessere Leitung der erkälteten Stelle dem Strome einen geringeren Leitungswiderstand entgegenstellt als früher, der Strom also kräftiger wirken konnte.

Rieß *) bestimmte den Leitungswiderstand oder die Verzögerungskraft der Metalle auf Grund sorgfältiger Versuche über die Temperaturveränderung eines in den Entladungskreis einer Leidner Batterie eingeschalteten Drahtes. Die Batterie wurde durch einen beliebig zusammengesetzten Metallbogen geschlossen, ein Theil desselben durch die Kugel eines Luftthermometers geführt, und die Erwärmung dieses eingeschlossenen Theiles bei der Entladung gleicher elektrischer Anhäufungen beobachtet, je nachdem ein entfernter Theil des ganzen Bogens aus dem einen oder dem anderen Metall bestand. Der in der Kugel des Luftthermometers befindliche Theil des Schließungsbogens war ein 59''',25 langer Platindraht. Außerdem enthielt der Schließungsbogen einen Henly'schen Auslader, in dessen Kegelklemmen ein Draht von dem zu untersuchenden Metalle in beliebiger Länge befestigt wurde. Bezüglich des Näheren verweisen wir auf die Abhandlung selbst. Rieß erhielt folgende Werthe für das Leitungsvermögen der Metalle bei gewöhnlicher Temperatur.

Silber . .	148,74	Eisen . . .	17,66
Kupfer . .	100,00	Platin. . .	15,52
Gold. . .	88,87	Zinn . . .	14,70
Kadmium.	38,35	Nickel . . .	13,15
Messing .	27,70	Blei. . . .	10,32
Palladium	18,18	Neusilber .	8,86

Numerische Untersuchungen über die elektrische Leitfähigkeit der Metalle bei verschiedenen Temperaturen sind von Lenz **) angestellt worden. Derselbe benutzte hierzu den elektrischen Strom, welcher in einem, den cylindrischen Anker eines Magneten spiralförmig umwindenden, Drahte durch Abreißen desselben vom Magneten erregt wird. In zwei sonst ganz gleichen Spiralen aus verschiedenem Metall, welche den magnetischen Anker umschließen, verhalten sich die elektrischen

*) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 20.

**) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 418; Bd. XLIV. S. 345; Bd. XLV. S. 105. Mém. de l'Acad. des sciences de St. Pet. 3me. sc. math. et phys. T. II. p. 631.

Ströme, welche durch Abziehen oder Anlegen desselben an den Magneten hervorgerufen werden, direct wie die Leitungsfähigkeiten der Metalle für Elektricität (s. Art. Induction, elektrische S. 22 ff.). Ein Ende der elektromotorischen Spirale ward unmittelbar mit dem Multiplicatordrahte verbunden, zwischen den anderen Enden der Spirale und des Multiplicators, an dem die Ablenkung der Magnetnadel beobachtet wurde, wurde der Draht eingeschaltet, dessen Leitungsfähigkeit für verschiedene Temperaturen geprüft werden sollte. Die Länge dieses zu prüfenden Drahtes ward jedesmal genau gemessen, dann um einen Cylinder zu einer dichten Spirale gewunden, und, nachdem der Cylinder herausgezogen war, auf die Kugel eines Greiner'schen Thermometers Réaum. geschoben, welches mit einer Scale bis zum Siedpunkte des Quecksilbers hinauf versehen war. Die Scale war auf Papier getheilt und in eine Glasröhre eingeschlossen, wie dies bei den Thermometern von Greiner gewöhnlich der Fall ist. Durch Vergleichung mit einem Normalthermometer wurde das Thermometer berichtigt, und auch die Correction, wegen ungleichförmiger Ausdehnung des Quecksilbers über den Siedpunkt des Wassers hinaus, nach Dulong und Petit, berücksichtigt. Das Thermometer nebst der darauf stehenden Drahtspirale wurde hierauf in ein cylindrisches, kupfernes, mit Baumöl auf $^2/_3$ Höhe gefülltes Gefäß von 5″ Höhe und 4″ Durchmesser gesteckt, durch Oeffnungen, die zu dem Zwecke in dem Deckel des Gefäßes angebracht waren, so daß aus demselben nur die Thermometerscale und die beiden Enden des zur Cylinderspirale gewundenen, zu prüfenden Drahtes hervorragten, welche letztere mit den übrigen Drähten, durch welche der elektrische Kreislauf gehen sollte, auf gehörige Weise verbunden wurden. Das Oel wurde mittelst einer Spirituslampe erhitzt, bis zu der Temperatur, deren Einfluß man gerade bestimmen wollte, und die Abweichung der Magnetnadel durch Abreißung des Ankers mit seiner elektromotorischen Spirale in dem Augenblicke hervorgebracht und beobachtet, in welchem das Thermometer bis auf den bestimmten Punkt stieg. Hierauf ward die Lampe entfernt und dieselbe Beobachtung bei derselben Temperatur, aber beim Sinken des Thermometers durch allmäliges Erkalten der Oelmasse angestellt. Endlich wurden beide Beobachtungen nochmals wiederholt, so daß bei jeder Temperatur vier Beobachtungen angestellt wurden, zwei bei steigender und zwei bei sinkender Temperatur, wodurch Lenz die Fehler, welche aus einer ungleichen Erwärmung der Spirale und des Thermometers entstehen würden, so viel wie möglich aufzuheben suchte. Zu gleicher Zeit wurden diese vier Beobachtungen so angestellt, daß zwei an dem einen und zwei an dem anderen Ende des Multiplicatorzeigers beobachtet, und bei zweien die Ablenkung nach rechts, bei zweien aber nach links hervorgebracht wurden (durch Umkehren des Magneten beim Anlegen an den Anker). Auf diese Weise wurden zugleich die Fehler der Excentricität der Nadel und einer etwaigen Drehung des zusammengesetzten Coconfadens, an welchem die Doppelnadel hing, beseitigt.

Die Beobachtungsreihe für die Leitungsfähigkeit eines jeden Metalles bei verschiedenen Temperaturen fing Lenz mit der Bestimmung der Kraft des Stromes an, wie sie sich blos für den elektromotorischen und Multiplicator-Draht, ohne Zwischenbringung des zu prüfenden Drahtes, ergab, und beschloß sie mit einer ähnlichen Beobachtung, wobei er die Temperatur der Leitungsdrähte mit der des Zimmers gleich annahm.

Nach Einschaltung des betreffenden Drahtes zwischen den Multiplicator- und

elektromotorischen Draht wurden die bei den verschiedenen Temperaturen erfolgenden Abweichungen der Multiplicatornadel beobachtet, und dann für jede Temperatur aus den einzelnen Beobachtungen das Mittel genommen.

Für die Berechnung der Leitungsfähigkeit der Drähte bei verschiedenen Temperaturen aus den beobachteten Ablenkungen der Multiplicatornadel, wandte Lenz folgendes Verfahren an. Er reducirte erst jeden Draht auf den Querschnitt des Multiplicatordrahtes nach dem Satze, daß sich die Leitungswiderstände der Drähte umgekehrt wie ihre Querschnitte verhalten. Nach dieser Reduction können die Leitungswiderstände durch die Länge der Drähte ausgedrückt werden, da sie denselben proportional sind, dividirt durch ihre Leitungsfähigkeit. Lenz nahm für jede Beobachtungsreihe die Leitungsfähigkeit des kupfernen Multiplicator- und elektromotorischen Drahtes als Einheit an, und nannte die Summe der reducirten Länge beider L. Dann drückt auch L ihren Leitungswiderstand aus. Die auf denselben Querschnitt des Multiplicatordrahtes reducirte Länge des zu prüfenden Drahtes heiße nun λ, sein Leitungsvermögen γ, ferner heiße die elektromotorische Kraft der Spirale um den Anker für den gegebenen Magneten A, die beobachtete Ablenkung ohne Zwischenbringung des zu prüfenden Drahtes a, dieselbe nach Dazwischenbringung dieses letzteren bei einer gewissen beobachteten Temperatur b. Die Stärke des Stromes *) für den ersten Fall ist $\frac{A}{L}$, für den zweiten Fall $\frac{A}{L + \frac{\lambda}{\gamma}}$, und hieraus ergeben sich, da die Stromstärke dem Sinus des halben Ablenkungsbogens proportional ist **), die beiden Gleichungen

$$\frac{A}{L} = p \, . \sin (^1/_2 \, a), \quad \frac{A}{L + \frac{\lambda}{\gamma}} = p \, . \sin (^1/_2 \, b),$$

wo p einen zu bestimmenden Coefficienten bedeutet, der aber, so wie das ebenfalls noch zu bestimmende A verschwindet, sobald wir die erste Gleichung durch die zweite dividiren. Wir bekommen alsdann die Gleichung $\frac{L + \frac{\lambda}{\gamma}}{L} = \frac{\sin (^1/_2 \, a)}{\sin (^1/_2 \, b)}$,

und folglich

$$\gamma = \frac{\lambda \, . \sin (^1/_2 \, b)}{L \, [\sin (^1/_2 \, a) - \sin (^1/_2 \, b)]} = \frac{\lambda \, . \sin (^1/_2 \, b)}{2 \, L \cos {}^1/_4 \, (a + b) \, . \sin {}^1/_4 \, (a - b)},$$

wo der letzte Ausdruck für γ für die logarithmische Behandlung bequemer ist.

Nach dieser Formel hat nun Lenz für verschiedene Metalle den Werth von γ berechnet. Der letztere bezog sich aber für jede Versuchsreihe auf eine andere Einheit, nämlich auf die der Leitungsfähigkeit des elektromotorischen und galvano-

*) Ueber die näheren Beziehungen des Leitungswiderstandes zur Stromstärke vergleiche man den Art. Strom, elektrischer.

**) Vergl. Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 386. 392.

metrischen Kupferdrahtes bei der Temperatur, die sie während der Reihe im Mittel hatten. Beim Zusammenfassen der Resultate für die verschiedenen Metalle wurde die Reduction auf eine und dieselbe Einheit vorgenommen.

Nachstehende Tabelle enthält die Resultate der Berechnungen von Lenz über die Leitungsfähigkeit der Metalle bei verschiedenen Temperaturen. Bemerkt sei hier noch, daß Lenz die Leitungsfähigkeit den Temperaturveränderungen nicht proportional fand.

	bei 0° R.	bei 100° R.	bei 200° R.
Silber	136,25	94,45	68,72
Kupfer	100,00	73,00	54,82
Gold	79,79	65,20	54,49
Messing	29,33	24,78	21,45
Eisen	17,74	10,87	7,00
Platin	14,16	10,93	9,02
Zinn	30,84	20,44	14,78
Blei	14,62	9,61	6,76
	bei 15° R.		
Antimon.	8,87		
Quecksilber	4,66		
Wismuth	2,58		

Um die Abnahme der Leitungsfähigkeit der Drähte bei Zunahme der Temperatur durch Gleichungen auszudrücken, bediente sich Lenz der Formel: $\gamma_n = x + yn + zn^2$, wo γ_n die Leitungsfähigkeit der Drähte bei n^0 des Réaumur'schen Thermometers, x die Leitungsfähigkeit derselben bei 0° bedeutet, und wo y und z bestimmte Coefficienten sind. Aus den zur Bestimmung von x, y und z mehr als hinreichenden Werthen von γ_n und n müßten diese Werthe nach der Methode der kleinsten Quadrate abgeleitet werden. Zur Ersparung der weitläufigen Rechnung hat sich Lenz hier, wo die Beobachtungsfehler doch mehrere Minuten betragen, der erlaubten Abkürzungen bedient, daß er die erste Gleichung von der zweiten, die zweite von der dritten &c. abzog, und daher eine Gleichung weniger als ursprünglich von der Form: $0 = m + ay + bz$ erhielt, aus denen er nun y und z ableitete, und durch Substitution dieser Werthe in die frühere Gleichung von obiger Form und dem Mittel aus allen auch z. Auf diese Weise hat er zuerst die Veränderungen der Leitungsfähigkeiten aller fünf Drähte in Formeln ausgedrückt, die sich auf die des Multiplicators und Leitungsdrahtes, als Einheit genommen, beziehen. Diese Einheit variirt aber bei den verschiedenen Drähten etwas, wegen der veränderlichen Temperatur des Zimmers, und es mußte, um die Formeln vergleichbar zu machen, eine kleine Correction angebracht werden. Hiernach wurden alle Formeln auf eine und dieselbe Einheit, nämlich auf die der Multiplicator- und Leitungsdrähte bei 14° R. zurückgeführt. Endlich änderte Lenz auch diese Einheit noch dahin ab, daß er die Leitungsfähigkeit des Kupfers bei 0° = 100 setzte und darauf alle übrigen Drähte bezog. Die durchgeführte Rechnung gab folgende Resultate. Für

Silber $\gamma_n = 136{,}250 - 0{,}49838 \,.\, n + 0{,}00080378 \,.\, n^2$
Kupfer $\gamma_n = 100{,}000 - 0{,}31368 \,.\, n + 0{,}00043679 \,.\, n^2$
Messing $\gamma_n = 29{,}332 - 0{,}05168 \,.\, n + 0{,}00006132 \,.\, n^2$
Eisen $\gamma_n = 17{,}741 - 0{,}08374 \,.\, n + 0{,}00015020 \,.\, n^2$
Platin $\gamma_n = 14{,}163 - 0{,}03890 \,.\, n + 0{,}00006586 \,.\, n^2$

Diese Formeln zeigen, daß die Abnahme der Leitungsfähigkeit der Metalle für die Elektricität bei Zunahme ihrer Temperatur bedeutend ist, und im Ganzen bei besser leitenden stärker als bei schwächer leitenden; jedoch steht diese Abnahme nicht in einem bestimmten Verhältnisse zur Leitungsfähigkeit, denn sonst müßten die Coefficienten von n und n^2 für alle Metalle dieselben werden, wenn man die Leitungsfähigkeit eines jeden Metalls bei $0^0 = 100$ setzt. Wir finden aber in diesem Falle folgende Werthe für diese Coefficienten:

für Silber $- 0{,}36568 \,.\, n + 0{,}000590 \,.\, n^2$
" Kupfer $- 0{,}31368 \,.\, n + 0{,}000437 \,.\, n^2$
" Messing $- 0{,}17120 \,.\, n + 0{,}000209 \,.\, n^2$
" Eisen $- 0{,}47200 \,.\, n + 0{,}000847 \,.\, n^2$
" Platin $- 0{,}27461 \,.\, n + 0{,}000465 \,.\, n^2$

Man sieht hieraus, daß die Metalle, was das Verhältniß ihrer Leitfähigkeit überhaupt zur Veränderung derselben vermittelst der Temperatur betrifft, bedeutend unter einander variiren, und daß in diesem Punkte Eisen die übrigen Metalle übertrifft. Da dieses Metall bei 0° und im Verhältniß von 17,7 : 14,1 besser leitet als das Platin, dagegen aber bedeutend schneller bei Wachsthum der Temperatur an Leitfähigkeit abnimmt, so muß es bei einer gewissen Temperatur eben so gut leitend werden als das Platin, bei höherer Temperatur aber schlechter.

Wenn die Erwärmung der metallenen Schließungsdrähte im umgekehrten Verhältnisse mit ihrer Leitungsfähigkeit steht, so werden schlechter leitende Schließungsdrähte den Strom einer Volta'schen Säule aus zwei Gründen mehr schwächen als besser leitende, einmal wegen ihrer schlechteren Leitungsfähigkeit, und dann wegen der dadurch hervorgebrachten größeren Erwärmung der Drähte.

Den Formeln von Lenz kommt eigentlich nur bis zu einer Temperatur von 200° Giltigkeit zu. Wollte man ihnen über diese Temperatur hinaus Giltigkeit zugestehen, so würde sich aus denselben nach Lenz ergeben, daß alle Metalle ein Minimum der Leitungsfähigkeit haben, indem das dritte positive Glied der Formeln, welches n^2 enthält, zuletzt das zweite negative zu überwiegen anfängt, von wo an dann die Metalle anfangen mit erhöhter Temperatur besser zu leiten. Dieses Minimum findet sich durch Differenziren der Formeln in Hinsicht auf n und durch Gleichsetzung der Differenziale = 0. Auf diese Weise ergiebt sich

für Silber das Min. bei 310° und ist bei dieser Temperatur = 59
" Kupfer " " " 359° " " " " " = 56
" Messing " " " 421° " " " " " = 18
" Eisen " " " 279° " " " " " = 6
" Platin " " " 295° " " " " " = 8

Die Größen des Minimums der Leitungsfähigkeiten sind immer auf die des Kupfers bei 0° = 100 bezogen.

Lenz bemerkt, daß das Stattfinden eines Minimums der Leitfähigkeit bei einer Temperatur, die für die verschiedenen Metalle zwischen 279° und 425°

variirt, in Widerspruch stehe mit dem oben (S. 426) erwähnten Davy'schen Versuche, denn das Glühen der Drähte geschehe gewiß bei einer höheren Temperatur als 421°, und doch mache eine Erhitzung des Drahtes vom Roth- zum Weißglühen denselben nicht besser leitend. Um die Zulässigkeit seiner Formeln für höhere Temperaturen als 200° einigermaßen zu prüfen, stellte er noch einen Versuch an. Eine Spirale von unbesponnenem Kupferdrahte wurde zwischen die elektromotorische Spirale und den Multiplicator gebracht, horizontal über einer Spirituslampe ausgespannt und dann vermittelst der letzteren zum Glühen erhitzt. Hierauf ließ er das Glühen bis zum Verlöschen der Lampe allmälig abnehmen, und beobachtete während dieser Zeit die Ablenkungen der Magnetnadel. Dieser Versuch schien nun für ein Minimum der Leitungsfähigkeit zu sprechen, indem der Strom bei Abnahme des Glühens statt stärker, schwächer wurde, und erst als das Glühen eben wieder aufhörte, wieder zunahm. Hiernach wäre aber Davy's Versuch nicht zu verstehen. Doch wagt Lenz nicht, auf seinen eben erwähnten Versuch hin zu entscheiden, besonders da bei diesem seinem Versuche die Temperatur des mehr oder weniger glühenden Drahtes nicht genau gemessen werden konnte.

Untersuchungen über das Leitungsvermögen der Metalle bei verschiedenen Temperaturen sind ferner von E. Becquerel (jun.) *) angestellt worden. Das Verfahren, dessen sich derselbe bediente, ist der Hauptsache nach das von seinem Vater verbesserte Davy'sche (S. 425), nach welchem man den Strom einer galvanischen Kette in zwei Arme zerspaltet, diese in entgegengesetzter Richtung auf ein Galvanometer (Multiplicator) wirken läßt, und zur Gleichheit bringt, erstlich für sich, und dann nachdem in den einen Arm der auf sein Leitungsvermögen zu prüfende Körper eingeschaltet worden ist. Als Galvanometer gebrauchte er eins mit zwei zusammengedrähten Drähten, und zur Aequilibrirung der Wirkung auf dasselbe bediente er sich desjenigen Wheatstone'schen Rheostats (s. d. Art.), bei welchem ein Messingdraht von einem Holzcylinder auf einen von Metall auf- und abgewickelt wird; es weicht von demselben nur dadurch ab, daß die beiden Cylinder an ihren Enden mit gezahnten Rädern versehen sind, und durch ein in dasselbe eingreifendes Getriebe bewegt werden. Dieser Rheostat, welcher eine Längenmessung bis auf 0mm,2 gestattet, ist in den einen Arm des Stromes eingeschaltet, der auf sein Leitungsvermögen zu prüfende Körper in den anderen.

Um das Leitungsvermögen eines Metalls bei gewöhnlicher Temperatur zu bestimmen, spannte Becquerel einen Draht von demselben zwischen zwei Zwingen aus, die, von senkrecht auf einen Tisch errichteten Holzstützen getragen, 1,5 Meter aus einander stehen. Unter diesem Drahte und parallel mit ihm liegt ein wohlbefestigtes, getheiltes Messinglineal, längs welchem eine dritte, den Draht sanft klemmende Zwinge verschiebbar ist. Mittelst dieser dritten Zwinge und einer der ersteren wird ein Theil des Drahtes in einen der Arme des Stromes gebracht, und seine Länge um gemessene Stücke verändert, deren Widerstand sich dann ergiebt, wenn man ihre Wirkung auf die Nadel durch den Rheostat annullirt.

Die zu untersuchenden Drähte erfuhren keine stärkere Spannung, als nöthig

*) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XVII. p. 242—291. Pogg. Ann. Bd. LXX S. 243.



war, um sie gerade zu richten und in Parallelismus mit dem Lineal zu bringen; bogen sie sich wegen ihres Gewichts oder ihrer Natur, so wurden Holzstützen darunter gestellt. Sie wurden überdies sowohl im gehärteten Zustande, wie sie aus dem Drahtzuge kommen, als auch im ausgeglühten angewandt. Quecksilber wurde in kalibrirte Glasröhren eingeschlossen. Die Durchmesser der Drähte wurden mit Hülfe eines von Lebaillif angegebenen Instruments unter dem Mikroskop (s. d. Art.) gemessen, und da die Drähte niemals genau kreisrund sind, die durch ein solches Loch gezogenen Drähte von verschiedenem Material auch nicht gleichen Durchmesser haben (Eisendrähte z. B. dicker sind als Golddrähte, und diese wiederum dicker als Bleidrähte), so wurde immer aus mehreren Messungen das Mittel genommen. Nachstehendes waren die Resultate der Messungen, bei welchen die Temperatur beständig zwischen 12° und 13° C. lag, und im Mittel auf 12°,75 C. gesetzt werden kann.

	Durchmesser der Drähte	Leitungsvermögen bei gleichem Durchmesser im Zustand		Verhältniß beider
		gehärteten	ausgeglühten	
	mm			
Silber (aus Chlorsilber reducirt) .	0,3203	93,448	100,000	1,0701
Kupfer, elektrochemisch gefällt und dann geschmolzen	0,3218	89,084	91,439	1,0264
Gold, reines . .	0,2970	64,385	65,458	1,0166
Kadmium . . .	0,2875	24,574		
Zink	0,3019 0,7390	24,164		
Zinn	0,6985	13,656		
Palladium . . .	0,225	13,977		
Eisen.	0,3037 0,737	12,124	12,246	1,0101
Blei	0,687 0,858	8,245		
Platin	0,3126	8,042	8,147	1,0130
Quecksilber (bei 14° C.) . .	0,734	1,8017		

Bei den Metallen, die in Drähten von zweierlei Durchmessern angewendet wurden, sind die Angaben der dritten Spalte das Mittel aus beiden Messungen, die übrigens wenig von einander abweichen.

Man sieht aus vorstehender Tafel, daß das Leitungsvermögen der gehärteten Drähte geringer als das der ausgeglühten ist. Auch scheint nach Peltier das Leitvermögen der Kupfer- und Messingdrähte, welche häufig bei elektrischen Lei-

tungen (Telegraphen) gebraucht werden, sich zu vermindern, woraus sich entnehmen läßt, daß der Moleeularzustand der Drähte von Einfluß auf ihr Leitungsvermögen ist.

Zur Ermittelung des Leitungsvermögens bei höheren Temperaturen wurde folgendes Verfahren eingeschlagen. Eine an beiden Enden offene Glasröhre von 5 bis 6 Centimeter Länge und 1 Centim. Durchmesser wurde schraubenförmig mit dem zu untersuchenden Drahte bewickelt, so daß sich die Windungen nicht berührten. War derselbe nicht länger als 1 Meter, so bildeten die Windungen nur eine Lage; überstieg er aber diese Länge, so umgab man die erste Lage mit Seide, wickelte eine zweite Lage darüber und befestigte sie wohl durch Seidenfäden. Die Enden des so vorgerichteten Drahtes verknüpfte man durch Umwickelung mit zwei Kupferstäbchen, von denen das eine in die Röhre hineinreichte, das andere an dem äußeren Umfange derselben endete. Die beiden Kupferstäbchen führten durch einen Kork, der zugleich ein Thermometer mit langem cylindrischen, der Röhre parallel gestellten Behälter durchließ. Dieser Kork diente zum Verschluß eines mit Oel gefüllten Glascylinders, welcher die mit Draht bewickelte Röhre und das Thermometer in senkrechter Stellung aufnahm. Der Glascylinder mit seinem Inhalt wurde dann in ein Marienbad getaucht, in welchem er bis nahe zum Siedepunkte des Wassers erhitzt werden konnte.

Zunächst suchte Becquerel zu ermitteln, wie sich das Leitungsvermögen bei einem und demselben Metall mit der Temperatur ändere. Zu dem Ende brachte er in den Glascylinder einen etwa 1 Meter langen Eisendraht, erwärmte ihn darin, bis das Thermometer einen festen Stand angenommen hatte, schaltete ihn darauf durch die Kupferstäbchen in den einen Arm des Stroms einer Kette ein, und ließ nun den Cylinder langsam erkalten, während er zugleich durch den in dem anderen Arm des Stromes befindlichen Rheostat die Nadel beständig auf Null hielt. So bekam er folgende Zahlen:

Rheostatgrade	Temperaturen		Unterschied	Rheostatgrade	Temperaturen		Unterschied
	beobachtet	berechnet			beobachtet	berechnet	
398,0	97°,8 C.	97°,80 C.		207,6	59°,00 C.	55°,80 C.	— 3,20
360,0	89,50	89,40	— 0,10	204,4	58,00	55,00	— 3,00
341,0	86,50	85,20	— 1,30	189,5	54,50	51,64	— 2,86
339,0	86,00	84,75	— 1,25	170,0	50,00	47,40	— 2,60
335,3	85,00	83,87	— 1,13	113,0	36,60	34,75	— 1,85
293,0	78,50	74,58	— 3,92	62,7	24,00	23,63	— 0,37
273,5	74,00	70,30	— 3,70	58,5	23,00	22,70	— 0,30
253,6	70,00	65,90	— 4,10	39,7	18,10	17,51	— 0,44
230,6	65,00	60,80	— 4,20	23,7	15,00	15,00	

Von den Rheostatgraden entsprechen 108 einem ganzen Umgange der Cylinder. Die Zahlen der dritten und siebenten Spalte sind in der Annahme berechnet, daß die mittlere Zunahme des Widerstandes für einen Grad Temperatur

gleich sei $\frac{398,0 - 23,7}{97^0,8 - 15^0} = 4,5205$ Rheostatgrade. Die vierte und achte Spalte zeigen, daß die also berechneten Temperaturen beträchtlich von den beobachteten abweichen. Becquerel meint, daß die Unterschiede in der durch die Veränderung der Temperatur nicht richtigen Angabe des Thermometers ihren Grund haben, und nimmt an, nicht allein für das Eisen, sondern auch für die übrigen Metalle, daß die Abnahme des Leitvermögens der Zunahme der Temperatur proportional gehe. In dieser Voraussetzung bestimmt er nun die Veränderung des Leitvermögens so, wie es folgendes Beispiel an einem $0^{mm},3203$ dicken, ausgeglühten Silberdraht verdeutlichen mag. Ein Meter dieses Drahtes zeigte bei gewöhnlicher Temperatur ($12^0,75$ C.) in dem oben beschriebenen Apparat einen Widerstand = 101,25 Rheostatgraden, $1^m,1675$ oder, nach Abzug der um die Kupferstäbchen gewickelten Enden, $1^m,1475$ desselben Drahtes, die in den zuletzt beschriebenen Apparat gebracht wurden, mußten demnach bei derselben Temperatur einen Widerstand = 116,184 leisten. Eine Nacht hindurch in diesem Apparate gelassen, zeigte das Thermometer $11^0,3$, und der Rheostat mußte auf den Punkt 7,1 gedreht werden, um die Wirkung auf die Nadel zu annulliren. Nun wurde der Apparat zwei Stunden lang erhitzt, bis eine constante Temperatur erlangt war. Dieselbe betrug $96^0,8$, und der Rheostat mußte zur Aequilibrirung auf 45,1 gedreht werden. Die Zunahme des Widerstandes betrug also $45,1 - 7,1 = 38,0$ für $96^0,8 - 11^0,3 = 85^0,5$ C., mithin für 1^0 C. = 0,4444. Bei $12^0,75$ C. war der Widerstand des Drahtes = 116,184, also wäre er bei 0^0 C. $= 116,184 - 0,4444 \times 12^0,75 = 110,518$, und das Verhältniß jener Zunahme zu diesem Widerstand oder $\frac{0,4444}{110,518} = 0,004021$. Die letztere Zahl nennt Becquerel Coefficient der Zunahme des Widerstandes, und bestimmt sie nun auf ähnliche Weise für andere Metalle, aus welchen Bestimmungen hier nur die Mittelwerthe folgen.

	Coefficient der Zunahme des Widerstandes für 1^0 von 0^0 aus		Coefficient der Zunahme des Widerstandes für 1^0 von 0^0 aus
Silber	0,004022	Zink	0,003675
Blei	0,004349	Kadmium . . .	0,004040
Gold	0,003397	Zinn, ziemlich rein .	0,006188
Eisen	0,004726	„ vielleicht bleihaltig	0,005042
Kupfer	0,004097		
Platin	0,001861	Quecksilber . . .	0,00104

Darnach berechnet nun Becquerel folgende Tafel:

	bei 0°	Leitungsvermögen bei 100° C., gegen das vom Silber bei 0°	bei 100° C., gegen das vom Silber bei 100°
Silber, ausgeglüht	100	71,316	100
Kupfer, ditto	91,517	64,919	91,030
Gold	64,960	48,489	67,992
Kadmium	24,579	17,506	24,547
Zink	24,063	17,596	24,673
Zinn	14,014	8,657	12,139
Eisen, ausgeglüht	12,350	8,387	11,760
Blei	8,277	5,761	8,078
Platin, ausgeglüht	7,933	6,688	9,378
Quecksilber	1,7387	1,5749	2,2083

Poggendorff*) bemerkt bezüglich dieser Becquerel'schen Versuche, daß dieselben, ungeachtet der Vorzüge des von Becquerel gebrauchten Apparates (Differentialgalvanometers), wahrscheinlich einen geringeren Grad von Genauigkeit besitzen, als die früher von Rieß und Lenz aufgeführten.

Langsdorf**) macht in Bezug auf die relativ elektrischen Leitungswiderstände der Metalle auf den Mangel eines festen, überall leicht zugänglichen Normalmaßes aufmerksam. Hierzu scheint das Silber besonders geeignet, da es in chemisch reinem Zustande leicht darstellbar, leicht schmelzbar ist und überdies die Eigenschaft besitzt, sich an der Luft, selbst in der Glühhitze nicht zu oxydiren. Durch Glühen wird der Leitungswiderstand des Silbers nach Becquerel vermindert, Langsdorf zeigt aber, daß sich eine constante Verhältnißzahl nicht aufstellen lasse, weil fortgesetztes Ziehen, eben so wie das Glühen, den Leitungswiderstand des Silberdrahtes verändere. Eine Versuchsreihe führte, wie es scheint, zu dem Resultat, daß der ungeglüht öfters gezogene Draht sich zuletzt einem constanten Minimum der Leitungsfähigkeit nähere, eine andere ließ aber diese Annahme nicht zu. Langsdorf erhielt Silberdrähte von ganz constantem Leitungsvermögen auf folgende Weise. Chemisch reines Silber wird vor dem Ziehen geglüht. Hat der Draht eine solche Dicke erlangt, daß man ihn ohne Schaden zu einem Ringe zusammenwickeln kann, so glüht man ihn öfter zwischen den Zügen und zwar um so öfter, je mehr das Ziehen sich dem Ende nähert. Vor dem zweiten letzten Durchzuge 3 bis 4 Mal hinter einander, dann wird 2 Mal gezogen und nun wieder 3 bis 4 Mal recht gleichmäßig geglüht und durch möglichst gleichzeitiges Eintauchen der ganzen Masse abgeschreckt. Nach Beendigung der Operation kann man sich von der normalen Beschaffenheit des Drahtes dadurch leicht überzeugen, daß man ein Stück davon durch die folgende Oeffnung des Zieheisens zieht; abnorme Beschaffenheit verräth sich sogleich durch einen Bruch.

Als Einheit des galvanischen Widerstandes läßt sich der Widerstand ansehen,

*) Ann. Bd. LXX. S. 230.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXV. S. 155.

den ein ausgeglühter Silberdraht (nach dieser Behandlungsweise) hervorbringt, von welchem 1ᵐ 1 Grm. wiegt. Wird jedoch der Draht anders behandelt, so zeigt er auffallende Unregelmäßigkeiten. Zur Erlangung eines normalen Drahtes ist erforderlich, einer allzustarken Compression der Masse frühzeitig durch öfteres Glühen vorzubeugen, da man später durch bloßes Glühen den Zweck nicht erreicht.

Wir erwähnen hier beiläufig, daß Swanberg *) an dem von Wheatstone **) angegebenen Widerstandsmesser eine Modification anbrachte, um die Genauigkeit zu erreichen, deren die Anwendung dieses Instrumentes überhaupt fähig ist.

J. Müller ***) (aus Halle) hat auf Grund einiger von ihm angestellten Versuche über die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Metalle von der Temperatur den Leitungswiderstand mit der Wärmecapacität der Metalle verglichen. Zu diesen Versuchen gebrauchte er ein von Hankel angegebenes Differentialgalvanometer, das noch im Verlaufe dieses Artikels beschrieben werden wird. Für einen Eisendraht erhielt er folgende Resultate, die er dem Leitungswiderstande gegenüberstellt, wie dieser nach Lenz's Formel aus der ersten Beobachtung bei 24°,62 berechnet ist. Die betreffenden Angaben sind das Mittel aus etwa sechs Beobachtungen.

Temperatur Celsius	Beobachteter Widerstand	Berechneter Widerstand	Differenz
24,62	3270,7	3270,7	0
34,94	3415,3	3395,62	+ 20,32
46,03	3579,1	3545,55	+ 33,55
53,00	3674,2	3643,75	+ 30,45
65,39	3865 0	3826,05	+ 38,95
79,05	4074,5	4038,80	+ 35,70
86,40	4211,7	4158,46	+ 53,24
93,93	4352,2	4284,90	+ 67,30
103,19	4513,0	4445,7	+ 67,30
114,77	4708,5	4655,13	+ 53,37
127,35	4943,5	4892,84	+ 50,66
135,60	5112,0	5065,87	+ 46,13
144,98	5292,3	5242,36	+ 49,94
158,05	5545,0	5514,80	+ 30,20

Diese Reihe, welche zeigt, daß die Versuche mit der Lenz'schen Formel übereinstimmen, zeigt zugleich für das Eisen ein etwas anderes Gesetz als bei Lenz, was Müller aus der Verschiedenheit der angewandten Eisensorten erklärt. — Nachstehend sind noch die Leitungswiderstände eines Zinkdrahtes und

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 411.
**) Phil. Transact. for 1843. Pogg. Ann. Bd. LXII.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 434.

eines Quecksilberfadens angegeben. Neben dem beobachteten Widerstand stehen die für den Widerstand unter der Voraussetzung, daß derselbe zwischen 23° und 150° mit der Temperatur proportional zunehme, aus der ersten und letzten Beobachtung berechneten Zahlen.

Temperatur des Zinkdrahtes	Beobachteter Widerstand	Unter der angegebenen Voraussetzung berechneter Widerstand	Differenz
23,8 C.	511	511	0
36,0	534	533	— 1
46,9	551	553	+ 2
53,4	558	565	+ 7
63,6	575	583	+ 8
73,6	596	601	+ 5
83,8	613	619	+ 6
94,6	632	639	+ 7
104,3	650	657	+ 7
114,2	669	675	+ 6
126,8	693	698	+ 5
136,2	713	715	+ 2
143,9	731	728	— 3
150,9	741	741	0

Mittel aus etwa fünf Beobachtungen.

Nach den Differenzen zu urtheilen, ist die Zunahme des Leitungswiderstandes beim Zink in diesen Grenzen dem Temperaturunterschiede fast genau proportional.

Eine kleine Abweichung von der Proportionalität ist aber durch das Zunehmen der Differenz nach der Mitte zu bestimmt angedeutet.

Mittel aus fünf Beobachtungen.

Temperatur des Quecksilbers	Beobachteter Widerstand.	Unter der angegebenen Voraussetzung berechneter Widerstand	Differenz
18,6 C.	442	442,0	0
27,2	447	446,4	— 0,6
35,0	448	450,0	+ 2,0
45,7	452	455,6	+ 3,6
54,4	457	460,3	+ 3,3
67,5	460	467,0	+ 7,0
76,5	466	471,6	+ 5,6
86,9	469	476,9	+ 7,9
99,1	476	483,1	+ 7,1

Temperatur des Quecksilbers	Beobachteter Widerstand	Unter der angegebenen Voraussetzung berechneter Widerstand	Differenz
108,3	481	487,9	+ 6,9
117,8	488	492,8	+ 4,8
128,0	493	498,1	+ 5,1
135,3	499	501,8	+ 2,8
142 2	505	505,3	+ 0,3
151,4	510	510,0	0

Aus diesen Reihen läßt sich der Leitungswiderstand des Zinks und Quecksilbers für jede Temperatur zwischen 20° und 150° durch Interpolation berechnen.

Dulong und Petit haben bekanntlich bei mehreren Metallen die mittlere Wärmecapacität zwischen 0° und 100°, und dann zwischen 0° und 300° beobachtet. Unter der allerdings nicht ganz richtigen Annahme, daß sich die Capacität zwischen 0° und 300° proportional mit der Temperatur ändere, bestimmt Müller die Schnelligkeit, womit die Capacität bei steigender Temperatur wächst. Die speeifischen Wärmen für zwei bestimmte Temperaturen, nämlich für 50° und 150° C. sind dann ungefähr bekannt. Dividirt man die Capacität bei 150° durch die bei 50°, so giebt der Quotient die Schnelligkeit an, mit der die Capacität gewachsen ist. Diese Division hat Müller ausgeführt und den entsprechenden Quotienten für den Leitungswiderstand daneben gestellt. Für das Eisen, Platin, Kupfer sind die Widerstände aus den Lenz'schen Formeln, für Zink und Quecksilber aus seinen Versuchen durch Interpolation berechnet.

	Capacität		Leitungswiderstand		Quotienten	
	bei 50°	bei 150°	bei 50°	bei 150°	der Capacität	des Widerstandes
Quecksilber .	0,0330	0,0350	455	509	1,060	1,119
Platin . . .	0,0335	0,0355	$\frac{1}{12.7144}$	$\frac{1}{10.4455}$	1,060	1,217
Kupfer . . .	0,0949	0,1013	$\frac{1}{87.8432}$	$\frac{1}{68.6487}$	1,067	1,279
Zink	0,0927	1,1015	554	740	1,094	1,333
Silber . . .	0,0557	0,0611	$\frac{1}{117.601}$	$\frac{1}{88.019}$	1,096	1,336
Eisen. . . .	0,1098	0,1218	$\frac{1}{14.632}$	$\frac{1}{9.856}$	1,109	1,484

Aus dem Umstande nun, daß die Quotienten des Widerstandes in derselben Ordnung stehen mit denen der Capacität, folgt nach Müller mit einer Wahr-



scheinlichkeit von 720 zu 1, daß die Schnelligkeit der Zunahme des Widerstandes abhängt von der Schnelligkeit der Zunahme der Capacität. Wenn letzteres nämlich nicht der Fall wäre, so würden von den 720 Permutationen, in denen sich jene sechs Metalle ordnen lassen, jede für die Reihenfolge der Quotienten des Widerstandes gleich möglich sein. Am meisten sprechen Silber und Zink für das angeführte Gesetz, da sie fast denselben Quotienten der Capacität und auch fast denselben Quotienten des Leitungswiderstandes haben. Die größte Abweichung zeigt Quecksilber, was nach Müller daher rühren soll, daß es als flüssiges Metall die Wände des Gefäßes, in welches es bei den Beobachtungen der specifischen Wärme nach der Abkühlungsmethode gethan wird, weit inniger als die festen Metalle berührt.

Ein den Metallen gleichkommendes Leitungsvermögen hat die Holzkohle, die aber nach Priestley's *) Versuchen in verschiedenen Stücken beträchtliche Verschiedenheiten zeigt. Steinkohle leitet ebenfalls gut, während Ruß von Priestley als ein unvollkommener Leiter befunden wurde. Auf den Aggregatzustand der Kohle kommt es hierbei an. Brugnatelli fand die trockenen und harten Kohlen, welche bei der Destillation vegetabilischer Theile, z. B. der Benzoë, der Stärke, des Mehls ꝛc. zurückbleiben, nichtleitend, und die Kohlen aus harten Hölzern im Allgemeinen minder gut leitend als Kohlen aus weichem Holze, die aber ebenfalls durch Pulverisiren zu Nichtleitern wurden. Der Diamant ist ein Nichtleiter, der Graphit ein vortrefflicher, mineralische Holzkohle und Anthracit sind gute Leiter. — Nach Davy **) wirkte ein Kohlenstück von gut verkohltem dichten Buchsbaumholze, welches $^3/_{10}$ Zoll breit, $^1/_{10}$ Zoll dick und $1^2/_{10}$ Zoll lang war, zwischen großen Flächen Platin in den Schließungskreis einer Volta'schen Batterie gebracht, eben so gut leitend, als ein 6 Zoll langer Platindraht von $^1/_{220}$ Zoll Durchmesser.

Nach den Metallen wird die Elektricität am besten durch die Erze geleitet. Ausgedehntere Untersuchungen über das Leitungsvermögen der Mineralien sind von Pelletier ***) angestellt worden. Derselbe bestimmte das relative Leitungsvermögen der hierher gehörigen Körper durch die Entladung einer Leidner Flasche und nennt schlechte Leiter solche, mit welchen sich die Leidner Flasche nicht augenblicklich entladen läßt, sondern die Entladung einige Augenblicke dauert, und welche die Schläge nur dann durch sich hindurchlassen, wenn die Flasche stark geladen ist. Unter den Schwefel- und Arsenikverbindungen, wie auch von den Metalloxyden werden viele als sehr gute Leiter aufgeführt, während andere sehr mittelmäßig und manche gar nicht leiteten. Pelletier macht noch die Bemerkung, daß für die Erze keine ganz allgemein giltige Regel, die von der Oxydations- oder Schwefelungsstufe der Metalle oder von den physischen Eigenschaften der Erze hergenommen sei, aufgestellt werden könne.

Aus Versuchen, welche Munck af Rosenschöld ****) über die Fähigkeit starrer Körper, die Elektricität zu leiten, anstellte, folgt, daß ein und derselbe Körper, unter verschiedener Aggregation seiner kleinsten Theile, sich theils als

*) Geschichte der Elektricität. S. 393.
**) Gilbert's Ann. Bd. LXXI. S. 255.
***) Gilbert's Ann. Bd. XLVI. S. 198.
****) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 437.

guter Leiter, theils als Nichtleiter der Elektricität verhalten kann. Rosenschöld brachte den Körper, dessen Leitfähigkeit untersucht werden sollte, mit der äußeren Belegung einer Flasche und, auf der anderen Seite, mit einem Stück Metall in Verbindung, dann legte er einen Finger auf das Metall und veränderte entweder die Intensität der Ladung oder die Länge des im Schlagkreise befindlichen Theiles des Körpers, bis der Schlag gerade im Finger gefühlt wurde. Verschiedene starre Körper untersuchte er auf ihre Leitfähigkeit in der Form von Pulver. Die Körper wurden in einem Mörser fein gerieben, nachher gut getrocknet, und in eine Glasröhre gelegt. Das eine Ende der letzteren war zuvor mit Bleifolie umwickelt und verschlossen, und durch das andere wurde ein Eisendraht in das Pulver eingeführt. Wenn alles so weit fertig war, brachte er den Eisendraht mit der äußeren Belegung der Flasche in Berührung, und legte unter die Bleifolie eine Kupferplatte, welche er mit der Spitze eines benetzten Fingers berührte, während mit den nassen Fingern der anderen Hand die Flasche entladen wurde. Um nun die Leitungsfähigkeit verschiedener Körper vergleichungsweise zu bestimmen, kann man entweder, bei gleicher Länge des im Schlagkreise befindlichen Theils des Pulvers, die Intensität der Ladung so lange verändern, bis man den Punkt getroffen hat, bei welchem der Schlag gerade gefühlt wird; oder man kann bei einer festgestellten Intensität der Ladung nur die Entfernung des eisernen Drahtes von der Bleifolie verändern. Im ersten Falle steht die Leitungsfähigkeit im umgekehrten Verhältniß der Intensitäten der Ladung und im letzteren im geraden Verhältniß der Längen, welche sich im Schlagkreise befinden. Ob aber dies so streng mathematisch richtig sei, daß man annehmen könne, die Leitungsfähigkeit werde gefunden, wenn man die Länge mit der Intensität dividire, wird von M. af Rosenschöld nicht behauptet. Das letztere Verfahren scheint ihm den Vorzug zu besitzen, und er hat sich dessen bei seinen Versuchen bedient. Nur wenn die Menge des Pulvers nicht hinreichte, verminderte er die Intensität der Ladung. M. af Rosenschöld fand, daß die Leitungsfähigkeit mehrerer Körper durch die Einwirkung elektrischer Schläge oft sehr verändert wird, und erklärt dies im Allgemeinen durch eine gewisse Verschiebung oder Veränderung in der Lage der kleinsten Theilchen, welche durch die Entladung bewirkt werde. Bei leitenden Pulvern, welche frei auf Glas oder Papier lagen, wurde die Leitungsfähigkeit durch die Einwirkung von elektrischen Schlägen erhöht. Beim Kienmayer'schen Amalgam, welches locker in ein Glasrohr gefüllt war, wurde die Leitungsfähigkeit durch schwächere Schläge erhöht und durch stärkere wieder vermindert. Auch die Leitfähigkeit des wohlausgeglühten Kohlenpulvers wurde durch elektrische Schläge verändert, obschon in viel geringerem Grade als bei den untersuchten Metallpulvern.

Bei weitem geringer als die Leitungsfähigkeit der Metalle ist die tropfbarer Flüssigkeiten, welche man auch, in sofern sie in der Spannungsreihe der Metalle keine bestimmte Stelle einnehmen, Leiter zweiter Klasse zu nennen pflegt. Cavendish schätzte das Leitungsvermögen des Wassers 400 Millionen Mal geringer als das der Metalle, und nach Versuchen von Volta *) nimmt ein elektrischer Strom, welcher durch einen Metalldraht von der Feinheit eines Härchens mit Leichtigkeit hindurchgeht, im Wasser einen millionenmal größeren Raum ein und geht selbst durch diesen nicht mit derselben Leichtigkeit hindurch.

*) Gilb. Ann. Bd. XIV. S. 263.

Führt man nämlich den Entladungsstrom einer Leidner Flasche oder den Entladungsstrom einer schwach geladenen Batterie oder einer Säule aus hundert Lagen Kupfer und Zink, deren Spannung ungefähr 1°,5 des Volta'schen Strohelektrometers beträgt, mittelst zweier ziemlich breiter Metallstreifen, die einander gegenüberstehen, durch Wasser, das sich in einem großen Becken oder in einer hölzernen oder irdenen Kufe befindet, so breitet sich der Entladungsstrom im Wasser rechter und linker Hand von dem geraden Wege aus, der unmittelbar von dem einen Streifen zum anderen führt, so daß, wenn man die eine Hand zur Seite desselben in einem Abstande von einigen Zollen von dem geradlinigen Strome in das Wasser taucht, man von dem Entladungsschlage getroffen wird. Das ungemein geringe Leitungsvermögen des Wassers im Vergleich mit dem der Metalle zeigen auch Versuche von H. Davy *).

Die älteren Versuche, welche angestellt worden sind, um die Leitungsfähigkeit verschiedener Flüssigkeiten zu ermitteln, leiden an dem Uebelstande, daß bei ihnen keine Rücksicht genommen wurde auf den Widerstand der sogenannten Polarisation (s. d. Art. und Galvanismus), welche in Folge der Elektrolyse der Flüssigkeiten an den Metallen hervortritt.

Marianini **) bildete eine einfache Kette aus Zink und Kupfer und der zu untersuchenden Flüssigkeit. Diese Kette wurde durch einen Multiplicator geschlossen, und nach der Ablenkung der Magnetnadel das relative Leitungsvermögen der Flüssigkeiten bestimmt. Marianini fand das Leitungsvermögen des Meerwassers 100 Mal größer als das des destillirten Wassers. Nach demselben läßt sich das Leitvermögen des Alkohols gleich dem des Wassers durch Zusatz salziger Substanzen erhöhen, aber in weit geringerem Grade.

Förstemann ***) brachte in den Schließungsbogen einer Säule, welche auf einen Zustand gleichförmiger Wirksamkeit herabgekommen war, einen Wasserzersetzungsapparat und zugleich eine Röhre, welche nach einander mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt wurde, und verglich nun die Zeiten, welche zur Entwickelung gleicher Gasquantitäten nöthig waren. Je größer der Leitungswiderstand der Flüssigkeit war, desto längere Zeit verging, bis sich die bestimmte Quantität Gas entwickelt hatte. Die Flüssigkeit befand sich bei diesen Versuchen zwischen Platindrähten.

Ebenfalls zwischen Platin stellte de la Rive Versuche über das Leitungsvermögen verschiedener Flüssigkeiten an. Derselbe brachte nämlich verschiedene Flüssigkeiten in ein Gefäß und ließ in dieselben Platinplatten tauchen, welche mit einer Säule verbunden waren, in deren Schließungsbogen sich zugleich ein Multiplicator verband. Alle Umstände waren übrigens bei den verschiedenen Flüssigkeiten dieselben. Die Abweichungen der Magnetnadel des Multiplicators bei Anwendung der verschiedenen Flüssigkeiten dienten zur Bestimmung ihres verhältnißmäßigen Leitungsvermögens. Die Resultate, welche de la Rive fand, stimmen nicht ganz mit den von Förstemann erhaltenen überein. Nach ihm ist von allen Flüssigkeiten die Salpetersäure diejenige, welche zwischen Platin den geringsten

*) Gilb. Ann. Bd. LXXI. S. 253.
**) Schweigger's Journ. Bd. XIX. S. 30. 298. 301.
***) Kastner's Arch. Bd. IV. S. 82 ff.

Leitungswiderstand äußert; dann folgt die Salzsäure, und hiernach die Schwefelsäure. Reine und sehr verdünnte Salpetersäure bringt einen stärkeren Leitungswiderstand hervor als concentrirte; dagegen Schwefelsäure, selbst sehr verdünnte, einen geringeren Widerstand als concentrirte. Nach den genannten Säuren folgen Kalilauge und Ammoniakflüssigkeit, die sich fast nicht unterscheiden, und die Salzauflösungen, die einen noch geringeren Widerstand zu äußern scheinen als die Alkaliauflösungen, jedenfalls aber einen stärkeren, als die Säuren.

Pfaff *) hat gleichfalls Untersuchungen über die Reihenfolge der Flüssigkeiten hinsichtlich ihres Leitungsvermögens angestellt. Die Größe des letzteren wurde unmittelbar durch den Abweichungswinkel bestimmt, bei welchem die Magnetnadel nach einigen Schwankungen zur Ruhe kam.

Der Leitungswiderstand der Flüssigkeiten ist, wie man schon lange annahm, gleich dem der starren Leiter der Länge direct und dem Querschnitte umgekehrt proportional. Horsford hat dies in neuerer Zeit direct durch seine Versuche über den Leitungswiderstand flüssiger Körper bestätigt. Derselbe **) gebrauchte bei diesen Versuchen zur Aufnahme der Flüssigkeiten einen viereckigen Trog von festem und dichtem Holze, 0,3 Meter lang, 0,075 Meter breit und eben so tief; er war im Innern mit Schellackfirniß dick überzogen, um das Eindringen der Flüssigkeiten zu verhindern oder doch möglichst zu verzögern. Auf diesem Troge lagen zwei Bretstücke, von denen das eine festsitzt, das andere verschiebbar ist; sie dienen, die in die Flüssigkeit eintauchenden Platten zu halten und nach Befinden deren Abstand zu verändern. Die Platten, von gleicher Größe wie der Querschnitt des Kastens, wurden an Kupferstreifen festgeklemmt, welche ihrerseits wieder an den Bretstücken angeschraubt waren, und mit den Endstücken des Elektromotors in Verbindung standen. Als solcher wurde die constante Kohlenzinkkette benutzt, je nach Bedürfniß ein Paar oder auch mehrere Paare hinter einander. Die Stromstärke wurde mit einer sehr genau ausgeführten Weber'schen Tangentenboussole gemessen, und um *bestimmte* Stromstärken unverändert erhalten zu können, diente ein Wheatstone'scher Stromregulator (Rheostat). Der Draht des letzteren war aus Neusilber verfertigt, dessen Leitungswiderstand Buff auf das 12,4014fache von dem des chemisch reinen Silbers bestimmt hatte. Der Durchmesser dieses Drahtes betrug 1,5042 Millimeter, die Länge einer Windung des Regulators 751 Millimeter. Die Temperatur der geprüften Flüssigkeiten betrug durchschnittlich 18 bis 20° C.

Der Gang des Versuches fand in der Weise statt, daß man zwei Platten in dem mit Flüssigkeit ganz oder theilweise angefüllten Troge einander genau parallel, zuerst gewöhnlich auf 2,5 Centimeter Entfernung gegenüberstellte, dann die Kette schloß und mit Hülfe des Regulators die Nadel der Tangentenboussole auf einen bestimmten Grad richtete. Hierauf vergrößerte man den Abstand beider Platten durch Verrücken der einen, und sah zu, wie viel Neusilberdraht aus der Kette herausgenommen werden mußte, um den anfänglichen Ausschlag der Nadel wieder zu erhalten. Es ist einleuchtend, daß alsdann die Vergrößerung der Flüssigkeitsschicht einen genau eben so großen Widerstand bewirkte wie der abgewickelte Neu-

*) Schweigger's Journ. Bd. LV. S. 258.
**) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 238.

silberdraht, und zwar ganz unabhängig von dem Einflusse der Polarisation. Die nachstehenden Zahlen sind die Mittelwerthe von wenigstens drei, gewöhnlich aber von einer größeren Anzahl nahe übereinstimmender Beobachtungen.

Um einen etwaigen Einfluß der Stromstärke auf den Leitungswiderstand kennen zu lernen, wurde der Trog mit verdünnter Schwefelsäure von 1,10 spec. Gewicht bis zu 0,0275 Meter Höhe angefüllt. Man erhielt bei nachfolgenden

Ablenkungen der Nadel	den Widerstand in Windungen Neusilberdraht	
	für die ersten 2,5 Centim.	für die folgenden 2,5 Decim.
10°	32,44	20,67
20	20,30	21,25
30	10,74	20,00

Der Widerstand der ersten 2,5 Cent. Flüssigkeit, der den Einfluß der Polarisation einschließt, zeigt sich veränderlich mit der Stromstärke, während, sobald dieser Einfluß eliminirt worden, ein für verschiedene Stromstärken augenscheinlich gleich großer Widerstand erhalten wurde. Aehnliche Versuche mit anderen Flüssigkeiten, wie Kochsalz, Kupfervitriollösung 2c. ausgeführt, gaben ganz dasselbe Resultat. Daher erschien es Horsford genügend, den Widerstand der meisten übrigen Flüssigkeiten nur für eine einzige Stromstärke mit möglichster Genauigkeit zu untersuchen; diese wurde dann, um der Veränderlichkeit der Polarisation zu begegnen, im Verlaufe einer Versuchsreihe mit aller Sorgfalt eingehalten. Bei allen folgenden Angaben über die Dicke einer flüssigen Schicht sind die ersten 2,5 Centim., welche den Widerstand der Polarisation einschließen, bereits abgezogen.

Als Beleg für die Annahme, daß der Leitungswiderstand der Flüssigkeiten der Länge direct und dem Querschnitte umgekehrt proportional sei, wird folgende Versuchsreihe mitgetheilt, welche mit derselben verdünnten Schwefelsäure wie vorher ausgeführt ist.

Länge der flüssigen Schicht Centim.	Widerstand in Windungen Neusilberdraht.	
	beobachtet	berechnet auf 5 Cent. Länge
25	20,67	4,134
12,5	10,75	4,300
7,5	6,98	4,654
5,0	4,25	4,250
2,5	2,11	4,220
		Mittelwerth 4,311

Der Trog war mit der Säure bis zu 0,0275 Meter Höhe angefüllt. Als hierauf die flüssige Schicht bis zu 0,048 Meter erhöht wurde, erhielt man für 5 Centim. Länge einen Widerstand gleich dem von 2,56 Windungen. Es ist aber 0,0275 : 0,048 nahe genau wie 2,56 : 4,311.

Man kann hiernach den Leitungswiderstand einer Flüssigkeit von bestimmter chemischer Beschaffenheit in Rechnung nehmen, wenn er nur für eine einzige Länge und einen einzigen Querschnitt genau gemessen worden ist. Die von Horsford bei verschiedenen Flüssigkeiten, die er untersuchte, gewonnenen Resultate sind von ihm in der folgenden Tabelle übersichtlich zusammengestellt. Gewöhnlich waren Platinplatten in die Flüssigkeiten eingetaucht. Nur bei der Kupferlösung wählte man Kupferplatten, und bei den Zinklösungen Zinkplatten, um dadurch die Polarisation zu vermindern. Die gewählten Auflösungen waren chemisch rein. Die Angaben über den Widerstand der Zinkvitriollösung sollen nur als Annäherungen gelten. Weil nämlich das aus der Flüssigkeit niedergeschlagene Zink sich an der negativen Polplatte theilweise in senkrecht anschießenden Nadeln absetzte, zeigte sich im Laufe eines jeden Versuches eine allmälige Abnahme des Widerstandes der vordersten Schicht.

Namen und Beschaffenheit der Flüssigkeit	Ausfüllungshöhe des Troges	Leitungswiderstand in Regulator-Windungen	Leitungswiderstand Neusilber = 1
	Meter	für 5 Centim. Länge der flüssigen Schicht	
Schwefelsäure von 1,10 spec. Gew.	0,0275	4,311	75673
„ „ 1,15 „ „	0,0275	3,680	67770
„ „ 1,20 „ „	0,0275	3,202	56180
„ „ 1,24 „ „	0,0275	3,200	56180
„ „ 1,30 „ „	0,0275	3,200	56180
„ „ 1,40 „ „	0,0275	4,700	82520
Zinkvitriollösung, wovon 100 CC. enthielten:			
7,287 Grm. $ZnO, SO_3 HO$.	0,0275	108,00	1896000
4,175 „ — — — .	0,0275	151,70	2663400
Kupfervitriollösung, wov. 100 CC. enthielten:			
15,093 Grm. CuO, SO_3 . .	0,0275	55,38	972320
7,547 „ — — . .	0,0275	80,32	1410200
		für 2,5 Centim. Länge der flüssigen Schicht	
Kochsalzlösung			
27,6 Grm. in 500 CC. Wasser	0,023	19,65	577100
21,3 „ „ 500 CC. „	0,023	26,20	769460
Zweifache Verdünnung . .	0,046	25,336	1488200
Vierfache Verdünnung . .	0,046	44,72	2750560
Chlorkaliumlösung			
27,6 Grm. in 500 CC. Wasser	0,023	19,68	578000
Zweifache Verdünnung . .	0,046	18,79	1103700
Vierfache Verdünnung . .	0,046	34,16	2006500



Namen und Beschaffenheit der Flüssigkeit	Ausfüllungshöhe des Troges	Leitungswiderstand in Regulator-Windungen	Leitungswiderstand Neusilber = 1
	Meter	für 2,5 Centim. Länge der flüssigen Schicht	
Chlorbariumlösung 38,46 Grm. ClB in 500 CC. Wasser	0,023	37,50	1101300
Zweifache Verdünnung . .	0,046	37,07	
Chlorstrontiumlösung 29,30 Grm. ClSt in 500 CC. Wasser	0,023	26,56	780100
Zweifache Verdünnung . .	0,046	27,50	
Chlorcalciumlösung von 1,04 spec. Gewicht . .	0,023	22,90	672560
Chlormagnesiumlösung . . .	0,023	22,89	672560
Chlorzinklösung	0,023	37,20	1092500

Das Leitungsvermögen einer Flüssigkeit nimmt im Allgemeinen mit der Temperatur zu. Es ist auch eine bekannte Thatsache, daß die Wirkungen der geschlossenen Säule zunehmen, wenn man statt kalter warme Flüssigkeit anwendet. Schon die Temperatur der Luft zeigt sich hier unter Umständen von Einfluß. Bischof machte die Bemerkung, daß die wasserzersetzende Kraft einer mit Kochsalzlösung aufgebauten Säule mit der Temperatur der sie umgebenden Luft zu- und abnahm. Marianini fand, daß die Zunahme des Leitungsvermögens bei verschiedenen Flüssigkeiten durch Temperaturerhöhung um so geringer war, je bessere Leiter der Elektricitat diese Flüssigkeiten an und für sich waren. Auch glaubte man gefunden zu haben, daß, wenn das Leitungsvermögen durch Erhöhung der Temperatur von einem gewissen Punkte an bis zu einem beliebig höheren zugenommen hatte, die Abnahme bei rückgängiger Abkühlung nicht so viel betrug als die Zunahme, und die Flüssigkeit erst nach ziemlich langer Zeit ihr ursprüngliches Leitungsvermögen wieder erhielt. Auf diesen Umstand fällt einiges Licht durch einen von Henrici *) angestellten Versuch über den Einfluß der Temperatur auf das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten für galvanische Ströme. Henrici verschaffte sich einen elektrischen Strom von andauernder Constanz, so daß die Galvanometernadel ihren Stand während mehrerer Stunden nicht um $^1/_{10}$ Grad änderte. Sobald nun die Erwärmung der eingeschalteten Flüssigkeit (sehr verdünnte Schwefelsäure) merklich wurde, stellte sich eine sehr langsame Zunahme der Ablenkung ein, und als ein angebrachtes Thermometer von 17° auf 18° gestiegen war, war die Galvanometernadel von 38° auf 41° fortgerückt. Hierauf wurde der Apparat, ohne die Temperaturerhöhung fortzusetzen, sich selbst überlassen. Die Abkühlung bis zur ursprünglichen Temperatur geschah sehr allmälig; als diese

*) Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 174.

eingetreten war, stand die Nadel auf 39°. Es hatte also die Leitfähigkeit der Flüssigkeit durch die Erwärmung derselben eine bleibende Erhöhung erlangt, was Henrici der durch die Erwärmung bewirkten Austreibung der in der Flüssigkeit gelösten atmosphärischen Gase, welche sich in ziemlich zahlreichen kleinen Bläschen entwickelten, zuschreibt. Die späteren Versuche ergaben sämmtlich eine Steigerung der Ablenkung um 2° mit völliger Rückkehr der Nadel auf den Ausgangspunkt.

Um das Leitvermögen der Flüssigkeiten unabhängig von der Polarisation zu bestimmen, benutzte E. Becquerel *) ein Verfahren, das er im Wesentlichen auch bei den Metallen angewendet hatte. Es wurde nämlich in jeden der beiden Arme eines gespaltenen Stroms, die in entgegengesetzten Richtungen auf die Nadel eines Differentialgalvanometers wirken konnten, eine Säule von einer und derselben Flüssigkeit eingeschaltet und das Gleichgewicht hergestellt, erst für sich und dann, nachdem in den einen Arm ein Draht von bekanntem Widerstand eingefügt worden war. Das Stück, um welches hierzu die in demselben Arme befindliche Säule verkürzt werden mußte, lehrte nun den Widerstand der Flüssigkeit kennen.

Die Flüssigkeiten befanden sich in zwei Glascylindern, von denen jeder eine oben durch Kork senkrecht gehaltene, ganz offene und den Boden nicht berührende Glasröhre concentrisch einschloß. In jeder dieser Glasröhren war eine deren Querschnitt genau ausfüllende, horizontale Metallplatte verschiebbar, und zwar mittelst eines daran gelötheten Drahtes, der, um vor der Flüssigkeit geschützt zu sein, von einer engen Glasröhre umgeben war. Unterhalb der weiten Röhre befand sich eine zweite horizontale Platte, deren ähnlich vorgerichteter Stiel in dem Raume zwischen der Röhre und dem Cylinder in die Höhe ging. Die beiden unteren Platten blieben unverrückt, von den oberen dagegen war die eine, durch ihren Stiel, mit einer aufrechten Metallscale verbunden, welche mittelst eines Getriebes eine Hebung oder Senkung derselben, und somit eine Verlängerung oder Verkürzung der von dem einen Arme des Stromes durchlaufenen Flüssigkeitssäule erlaubte. Zwei Quecksilbernäpfe, wovon der eine mit der erwähnten Metallscale, der andere mit der galvanischen Kette in Verbindung stand, nahmen den Meßdraht auf, und waren anfangs, wenn dieser ausgeschlossen blieb, durch einen dicken Kupferbügel verbunden. Die Platten in der Röhre bestanden bei Kupferlösungen beide aus Kupfer; war dagegen die Flüssigkeit von der Natur, daß eine Wasserzersetzung eintrat, so wurde die untere Platte zur negativen Elektrode gemacht und von einem leicht oxydirbaren Metall genommen, um den Sauerstoff zu absorbiren und somit dessen Aufsteigen zu verhindern. Das Entweichen des Wasserstoffs an der oberen Platte wurde durch eine geringe Neigung derselben begünstigt. In einigen Fällen wandte Becquerel Platinplatten an, immer aber gebrauchte er nur einen schwachen Strom, damit die Zersetzung der Flüssigkeit unbeträchtlich bliebe. Der die Quecksilbernäpfe verbindende Draht war von Platin. Derselbe wurde mit dem messingenen Rheostatdrahte verglichen, und dieser wiederum mit einem ausgeglühten Silberdrahte,

*) Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XVII. p. 242. Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 250.

welcher nun, reducirt auf den Durchmesser der Flüssigkeitssäulen (der 21^{mm},54 betrug) als Maß des Leitungsvermögens der Flüssigkeiten diente.

Auf diese Weise wurden folgende Resultate gewonnen:

	Dichtigkeit	Temperatur	Leitvermögen
Silber, rein ausgeglüht	—	0°,00	100000000
Wasser, gesättigt mit schwefelsaurem Kupfer	1,1707	9,25	. 5,42
Wasser, gesättigt mit Chlornatrium bei 9°,5 C.	—	13,40	31,52
Wasser, gesättigt mit salpetersaurem Kupfer	1,6008	13,00	8,995
Wasser, gesättigt mit schwefelsaurem Zink	1,4410	14,40	5,77
250 Grm. Wasser und 30 Grm. Jodkalium	—	12,50	11,20
220 Cubikcentimeter Wasser und 20 Cubikcentimeter Schwefelsäure mit 1 At. Wasser	—	19,00	88,68
Käufliche Salpetersäure von 36° B. . .	—	13,10	93,77
20 Grm. Antimonchlorür, 120 Cubikcentimeter Wasser und 100 Cubikcentimeter Salzsäure	—	15,00	112,01

Einige dieser Flüssigkeiten wandte Becquerel in verschiedenen Graden der Verdünnung an, und dabei kam er zu dem Gesetz, daß, wenn q die Gewichtsmenge des in einem bestimmten Volumen gelösten Salzes bezeichnet, das Leitvermögen C oder der Widerstand R der Lösungen zum Ausdruck bekomme: $\frac{1}{C} = R = A + \frac{B}{q}$, worin A und B zwei von der Natur des Salzes abhängige Constanten sind. Becquerel fand aber, daß es bei der Lösung des salpetersauren Kupferoxydes nur von einem gewissen Grade der Verdünnung an gelte (und zwar mit negativem Zeichen von B), daß es mithin kein allgemein giltiges sei. Zur Erläuterung dient Nachstehendes.

	Salzgehalt in gleichem Volumen	Leitungsvermögen
Schwefelsaures Kupferoxyd		
Gesättigte Lösung	1	5,42
„ „ verdünnt zum 2fachen Volumen	1/2	3,47
„ „ „ „ 4fachen „	1/4	2,08
Chlornatrium		
Gesättigte Lösung	1	31,52
„ „ verdünnt zum 2fachen Volumen	1/2	23,08
„ „ „ „ 3fachen „	1/3	17,48
„ „ „ „ 4fachen „	1/4	13,58

	Salzgehalt in gleichem Volumen	Leitungsvermögen
Salpetersaures Kupferoxyd		
Gesättigte Lösung (Dichte = 1,6008) . . .	1	8,995
" " verdünnt zum $^3/_2$fachen Volumen	$^2/_3$	16,208
" " " " 2fachen "	$^1/_2$	17,073
" " " " 4fachen "	$^1/_4$	13,442
Salpetersaures Kupferoxyd		
Verdünnte Lösung (Dichte = 1,0850) . . .	1	8,979
" " verdünnt zum 2fachen Volumen	$^1/_2$	5,349
" " " " 4fachen "	$^1/_4$	2,942
" " " " 8fachen "	$^1/_8$	1,539

Zur Bestimmung des Leitvermögens bei verschiedenen Temperaturen gebrauchte Becquerel denselben Apparat, in welchem die untersuchten Flüssigkeiten, deren nur drei an der Zahl waren, auf zweierlei Temperaturen erwärmt wurden. Der Coefficient in der letzten Spalte folgender Tabelle beruht auf einer dem Temperaturanwuchs proportionalen Zunahme des Leitungsvermögens.

	Temperatur	Leitvermögen	Zunahme desselben für 1° C.
Schwefels. Kupfer, concentrirte Lösung .	14°,4 C.	3,88	0,1286
dito " " .	56,0	8,5	
Schwefels. Zink, concent. Lös. verdünnt mit 4fachem Volumen Wasser . . .	20,0	3,5	0,0223
dito dito	54,4	6,18	
Käufliche Salpetersäure von 36° B. . .	13,1	5,52	0,0263
	40,5	9,5	

Hankel *) brachte, um die Veränderung des Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten durch Erhöhung der Temperatur zu ermitteln, die zu untersuchende Flüssigkeit in eine Uförmig gebogene gradnirte Röhre, und verband zwei Punkte dieser Flüssigkeitssäule durch Drähte, welche mit Metallplatten in die Flüssigkeit tauchten, mit dem Multiplicator. Die Werthe einer Theilung der Röhre (der geraden Schenkel) waren in Beziehung auf Länge und Weite genau bestimmt. Der Werth des gebogenen Theils wurde durch Versuche ausgemittelt. Da die Versuche mit Kupfer- und Zinklösungen angestellt wurden, so waren die Platten, welche in die Flüssigkeit tauchten, von Kupfer oder von Zink, und wurden öfter durch eine Feile blank geschabt. Diese Platten waren so groß, als es der Durchmesser der Röhre erlaubte.

*) Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 255.

Zur Messung des Leitungswiderstandes wurde ein brauchbares Differentialgalvanometer construirt. Es ergab sich durch eine Reihe von Versuchen, daß der Grund, warum bei dem bisher construirten Differentialgalvanometer zwei gleiche Ströme, welche durch die beiden Drähte nach entgegengesetzten Richtungen geleitet werden, die Magnetnadel des Instruments nicht auf dem Nullpunkte stehen lassen, sondern rechts oder links, je nachdem die Nadel zufällig in Schwankungen geräth, ablenken und auf Weiten von 5° bis 10° festhalten, allein in der einseitigen Wirkung der Drähte, namentlich der vertikal vor der Nadel vorbeigehenden, auf einen Pol zu suchen ist. Es lassen sich die Drahtwindungen nicht so regelmäßig legen, daß dieser Einfluß verschwindet. Hankel wickelte den übersponnenen Kupferdraht auf einen großen Ring von 3 Fuß Durchmesser, der auf einem besonderen Tisch befestigt war, und hing in die Mitte desselben an einem Coconfaden einen kleinen Magnetstab von 3 Zoll Länge auf. In dem von ihm construirten Differentialgalvanometer waren zwei Drähte von 0,14789 Par. Zoll Durchmesser (jeder von 286 Fuß Länge und 28 Umwindungen) um den Ring gewickelt. Die Magnetnadel hing an einem Coconfaden, der von oben an der Innenseite des Ringes angebracht war, und wurde durch einen Glaskasten sorgfältig vor Luftströmungen geschützt. Dieser Glaskasten befand sich auf einem hölzernen Brete, welches etwas unterhalb des Mittelpunktes des Ringes befestigt war. Um die Empfindlichkeit des Instruments zu erhöhen wurde die Richtkraft des kleinen Magnetstabes durch einen im Meridian befindlichen Stabmagnet beliebig geschwächt, und um jede kleine Aenderung an der Stellung des kleinen Magnetstabes wahrnehmen zu können, trug er einen kleinen Spiegel von Glas, in welchem nach bekannter Weise mittelst eines Fernrohres eine unter demselben befindliche Scale beobachtet wurde.

Ein elektrischer Strom von zwei bis drei Daniell'schen Elementen wurde nun, nachdem er durch einen ganz einfach construirten Commutator gegangen war, in zwei Theile gespalten, so daß der eine Zweigstrom den einen Draht des Galvanometers in der einen Richtung, der andere in der entgegengesetzten durchlaufen mußte. Da durch stärkeres Anspannen des einen Drahtes in demselben ein etwas größerer Widerstand entstanden war, so wurden an den anderen einige Fuß desselben Drahtes angefügt, bis die Magnetnadel bei dem Durchgange dieser beiden Ströme durch das Galvanometer ganz unbewegt blieb. In den einen Zweigstrom wurde nun die Flüssigkeitssäule, in den anderen dagegen Spiralen von dünnen Eisendrähten, deren Widerstand genau bekannt war, eingeschaltet, und die letzteren so lange abgeändert, bis sie einen der Flüssigkeitssäule gleichen Widerstand darboten, d. h. bis die Nadel auf Null stehen blieb, wenn die Kette geschlossen wurde. Um aber eine und dieselbe Füllung der Röhre zu allen Versuchen gebrauchen zu können, wurde der Strom nicht fortwährend hindurchgelassen, sondern nur auf Augenblicke, wenn die nöthigen Einschaltungen gemacht waren. Die Kette war deshalb für gewöhnlich geöffnet, und nur wenn durch die Niederdrückung eines Hebels mittelst des Fußes eine damit in Verbindung stehende kupferne Metallfeder in Quecksilber getaucht wurde, geschlossen. Durch diese nur sehr kurze Zeit dauernden Ströme wurde auch eine Erwärmung der Platten und Flüssigkeitssäulen verhindert. Um jede Polarisation der Platten zu zerstören, war der Commutator eingeschaltet, der deshalb nach jeder Schließung der Kette umgestellt wurde.

Die beiden geradlinigen Schenkel der Röhre waren von einem bestimmten Punkte über der Biegung an, eingetheilt. Die Länge einer cylindrischen Flüssig-

keitsfäule, welche bei gleicher Dicke wie die geraden Schenkel der Röhre eben so viel Widerstand leistet, als der gebogene Theil der Uförmig gekrümmten Röhre sammt dem Uebergangswiderstande (in Folge der Polarisation), sei mit x bezeichnet. Bei der Abkühlung bis 0° wurde die Röhre in ein Gefäß mit Eis gestellt, bei den übrigen Temperaturen aber in ein Gefäß mit Wasser, das mit heißem Sande oder heißem Wasser nochmals umgeben war, um die Aenderungen der Temperatur während der Dauer eines Versuches sehr gering zu machen. Für die geringen Aenderungen wurden die nöthigen Correctionen angebracht, um die verschiedenen Beobachtungen auf einerlei Temperatur beziehen zu können. Bei diesen Abweichungen von meistens nur wenigen Zehntheilen eines Grades kann man die Aenderung der Leitungsfähigkeit ohne merklichen Fehler der Aenderung der Temperatur proportional setzen. Die Reduction geschah übrigens, um diese Werthe noch zu verkleinern, auf die Temperatur einer mittleren Beobachtung. Um vor größeren Versehen gesichert zu sein, wurden nämlich stets mehrere Versuche mit verschiedenen Flüssigkeitslängen angestellt. Die Berechnung der Versuche ist sehr einfach. Die erste Columme der nachstehenden beispielsweise mitgetheilten Angaben bedeutet die Länge der Flüssigkeitssäule, und die zweite die einen gleichen Widerstand darbietende Länge der Eisendrähte (in Decimalfußen). Hankel zog stets die bei der Einschaltung x (dem gekrümmten Theile der Röhre) gemachte Messung von den übrigen ab, um dadurch die Widerstände zu erhalten, welche Flüssigkeitssäulen von der Länge 10, 20, 30 und 40 darbieten. Im Mittel ist dann der Widerstand y für eine Säule von der Länge eines Theilstrichs angegeben.

Leitungswiderstand einer concentrirten Kupfervitriollösung A vom specifischen Gewicht 1,17, bei der Temperatur:

$x \,.\, y = 197,39;\ 0^0$ R.
$(x + 10)\, y = 310,58;\ 0$
$(x + 40)\, y = 645,96;\ 0$

Mittel für y bei $0^0 = 11,26$.

$x \,.\, y = 130,35;\ 11^0,8$ R.
$(x + 10)\, y = 203,02;\ 11,8$
$(x + 20)\, y = 276,37;\ 11,9$
$(x + 30)\, y = 352\ 63;\ 11,9$
$(x + 40)\, y = 424,71;\ 12,0$

Mittel für y bei $11^0,9 = 7,33$.

Hankel erhielt nun aus seinen Versuchen folgende Resultate:

	Temperatur R.	Leitungswiderstand
Mischung von 216,359 Th. der vorigen Lösung A mit 123,350 Th. Wasser	0°	14,86
Dieselbe Mischung	12°	9,8
Mischung von 108,693 Th. der Lösung A mit 185,118 Th. Wasser	0°	22,87
Dieselbe Mischung	11°	15,16

	Temperatur R.	Leitungswiderstand
Dieselbe Mischung	25°	10,5
" "	67°,4	7,1
Ziemlich concentrirte Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd von schwach saurer Reaction	0°	4,89
Dieselbe	11°,5	3,27
"	25°	2,18
"	67°,2	1,64
Concentrirte Lösung von Kupferchlorid, etwas Chlorür enthaltend; spec. Gewicht = 1,2	0°	4,47
Dieselbe	10°	2,86
Gesättigte Lösung B von käuflichem Zinkvitriol . .	0°	13,05
Dieselbe	9,8	8,62
"	27,4	4,55
"	67,4	2,29
Etwas weniger concentrirte Zinklösung vom spec. Gewicht 1,122	0°	10,33
Dieselbe	13,1	6,66
Mischung C aus 71,431 Th. der gesättigten Lösung B und 115,677 Th. Wasser	0°	13,00
Dieselbe	11,1	8,82
"	28,8	5,57
"	65,1	3,51
Mischung aus 43 Th. der Lösung C mit 68,027 Th. Wasser.	0°	25,0
Dieselbe	13,2	16,30
"	29,2	11,52
"	66,7	7,22

Da die Temperatur der Flüssigkeiten nicht bis zum Siedpunkte des Wassers erhöht werden konnte, so ließ sich die Temperatur bei ungefähr 66° nicht so constant erhalten, als es wünschenswerth war. Die hieraus entstandenen Abweichungen übersteigen jedoch nicht 2°,1, und da die Aenderung der Leitungsfähigkeit für 1° R. bei höheren Temperaturen viel geringer als bei niederen ist, so üben hier kleine Unrichtigkeiten in der Temperaturbestimmung einen weniger beträchtlichen Einfluß auf das Resultat.

Aus den Versuchen läßt sich erkennen, daß der Leitungswiderstand der Flüssigkeiten durch die Erhöhung der Temperatur sehr bedeutend vermindert wird, daß aber diese Verminderung der Temperaturveränderung nicht proportional geht, sondern daß dieselbe für einen bestimmten Temperaturunterschied um so größer ist, je näher die Temperatur dem Nullpunkte ist. Die verschiedenen Flüssigkeiten scheinen indessen in diesen Veränderungen einen ziemlich übereinstimmenden Gang darzubieten, und nur darin von einander abzuweichen, daß diejenigen Lösungen, welche eine größere Menge der Salze aufgelöst enthalten, auch eine größere Aenderung in ihrer Leitungsfähigkeit für dieselben Temperaturunterschiede erleiden. So ändert sich der

Leitungswiderstand des salpetersauren Kupferoxyds, und besonders der ganz gesättigten Lösung des schwefelsauren Zinkoxyds mehr als der Widerstand der Kupfervitriollösung und der weniger concentrirten Zinklösungen, und der Widerstand der letzteren wieder mehr als der Widerstand der sehr verdünnten Kupfervitriollösung.

Die Aenderungen, welche in dem Leitungswiderstande der Flüssigkeiten eintreten, sind viel größer als die durch dieselben Temperaturerhöhungen bei den Metallen bewirkten.

Hankel macht noch darauf aufmerksam, daß die größeren Veränderungen, welche sich in den concentrirteren Lösungen zeigen, wohl mit einer Erscheinung zusammenhängen dürften, die sich bei den Versuchen mit dem Zinkvitriol sehr deutlich ausspricht, wenn man z. B. die Leitungswiderstände der verschiedenen Lösungen mit einander vergleicht. Die gesättigte Lösung hat den Widerstand 13,00, eine weniger concentrirte 10,33, eine weiter verdünnte 13,00, und eine noch mehr verdünnte 25,00. Es nimmt also bei der Verdünnung der gesättigten Lösung mit Wasser der Leitungswiderstand erst ab, und dann wieder zu. Es muß die gesättigte Lösung mit mehr als der anderthalbfachen Gewichtsmenge Wasser vermischt werden, ehe der Leitungswiderstand wieder bis zu dem Widerstande der gesättigten Lösung erhöht wird. Die gesättigte Lösung zeigt sich sehr schwerflüssig, und namentlich bei niederen Temperaturen möchte sie Hankel fast dickflüssig nennen. Durch die Erwärmung verliert sich aber dieser Zustand zum Theil, und damit tritt zugleich eine so außerordentlich starke Verringerung des Widerstandes ein, wie sie keine andere der untersuchten Flüssigkeiten darbietet. Auch steht diese Erscheinung, daß eine concentrirte Zinklösung schlechter leitet als eine verdünnte, nicht isolirt. Die Schwefelsäure z. B. verhält sich ganz eben so, indem sie concentrirt schlechter leitet als mäßig verdünnt. Aber auch in diesem Falle ist die concentrirte Säure sehr dickflüssig.

Um diese Erscheinung zu erklären, geht Hankel von der oft gemachten Voraussetzung aus, daß es in den Flüssigkeiten nur eine Leitung gäbe, in sofern dieselben zersetzbar wären. Durch den schwerflüssigen Zustand ist nun die Beweglichkeit der Theilchen und hierdurch die Zersetzbarkeit derselben gehemmt, in demselben Maße aber auch die Leitungsfähigkeit vermindert. Deshalb erscheint es Hankel nicht unwahrscheinlich, daß der Einfluß der Wärme auf die Leitungsfähigkeit bei verschiedenen wässerigen Lösungen nahe derselbe ist, und nur noch Modificationen erleidet in Folge der Aenderung des Flüssigkeitsgrades, wodurch eine concentrirtere Lösung, da ihre Theilchen in der Wärme beweglicher werden, auch um so viel besser leitet.

Aus den mitgetheilten Tabellen läßt sich erkennen, daß das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten im Vergleich zu dem der Metalle sehr unbeträchtlich ist. So ist beispielsweise die Leitungsfähigkeit einer Kochsalzlösung über dreißig Millionen Mal geringer als die Leitungsfähigkeit des Kupfers. Doch läßt sich das Leitungsvermögen einer Flüssigkeit durch Vergrößerung des Querschnitts, welcher bekanntlich mit dem Leitungswiderstande im umgekehrten Verhältniß steht, dem Leitvermögen eines Metalls gleich bringen.

Verschiedene starre Körper, welche die Elektricität nicht leiten, werden zu Leitern, wenn man sie in den tropfbar flüssigen Zustand überführt. So fand

H. Davy *), daß Salpeter, Aetzkali und Aetznatron im geschmolzenen Zustande den elektrischen Strom leiten.

Nach Faraday **) sind folgende Körper im geschmolzenen oder flüssigen Zustande Leiter der Elektricität: Chlorblei, Chlorsilber, Chlornatrium, schwefelsaures Natron, verschiedene andere Chlor- und Jodverbindungen, Fluorkalium, Cyankalium, Schwefelcyankalium, salpetersaures Kali, Natron, Baryt, Strontian, Blei-, Kupfer- und Silberoxyd, schwefelsaures Blei, schwefelsaures Quecksilberoxydul, phosphorsaures Kali, Blei- und Kupferoxyd, glasige Phosphorsäure, phosphorsaurer Kalk, Borax, borarsaures Bleioxyd, borarsaures Zinnoxyd, einfach und doppelt chromsaures Kali, chromsaures Bleioxyd, essigsaures Kali, Schwefelantimon, Schwefelkalium, kieselsaures Kali.

Die Leitfähigkeit verschiedener Körper, namentlich einer Reihe von Schwefelmetallen, die sich bald als Leiter, bald als Isolatoren darstellten, ist von Rieß und Karsten genauer untersucht worden ***). Aluminium, das Rieß ****) zunächst in Pulverform anwandte und sich so nicht leitend verhielt, zeigte sich bei Anwendung eines größeren Stückes als Leiter. Ueber das Leitungsvermögen des Schwefelsilbers und Halbschwefelkupfers hat auch Hittorf *****) Untersuchungen angestellt.

Als ein in gewisser Beziehung ausgezeichneter Leiter der Elektricität verhält sich die Flamme. Schon Priestley †) fand, daß eine geladene Flasche aus der Entfernung von einigen Zollen von der Flamme eines Wachslichtes oder auch des Weingeistes ohne Geräusch vollständig entladen wird. Auch kann eine Leidner Flasche, auf deren Knopfe eine Flamme angebracht ist, in beträchtlicher Entfernung von dem Conductor einer Elektrisirmaschine geladen werden. Bonnycastle hielt den geladenen Deckel eines Elektrophors 1 Minute lang $1\frac{1}{2}$ Zoll weit vor die Flamme einer Kerze und fand bei Prüfung des Deckels am Elektrometer denselben völlig entladen. Der Deckel ward über verschiedene Flammen, namentlich von Schwefel, Wasserstoff, über Platin, das durch einen Strom von Wasserstoffgas ins Weißglühen gebracht war, endlich über die Flamme von Alkohol gehalten. In allen Fällen, ausgenommen über der Flamme von Schwefel, ging die Elektricität gänzlich verloren. Die Flamme des Schwefels entzog zwar dem Deckel seine Elektricität, wenn sie intensiv genug war, um fast weiß zu erscheinen; beschränkte sich aber die Verbrennung nur auf eine kleine Stelle und war die Flamme ganz blau, so fand wenig Verlust an Elektricität statt. Indessen bedienten sich Volta ††) und Bennet †††) der Flamme eines Schwefelfadens, um die atmosphärische Elektricität ihren Elektrometern schneller zuzuführen und dadurch sichtbar zu machen. Wir erinnern hier auch noch an die bekannte Thatsache, daß die Elektricität des Elektrophorkuchens selbst gleichfalls durch eine Alkoholflamme vollständig abgeleitet werden kann.

*) Journ. of the Roy. Inst. 1802. p. 52.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 225.
***) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 49; Bd. LXXI. S. 239.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 619.
*****) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 1.
†) Geschichte der Elektricität. S. 473.
††) Meteorologische Briefe. S. 112.
†††) Phil. Transact. Vol. LXXVII. p. 11.

Erman *) beobachtete einige besondere Erscheinungen, welche die Flamme in ihrem Verhalten gegen eine Volta'sche Säule zeigt. Es sei eine solche Säule durch eine hinreichend breite Harzfläche isolirt, und mit jedem Pol der Säule sei ein Elektroskop verbunden. Berührt nun die Flamme einer ebenfalls isolirten Weingeistlampe bald den einen, bald den anderen Poldraht, so zeigt das am entgegengesetzten Pole angebrachte Elektroskop keine merkliche Veränderung seiner Divergenz. Wird aber die einen Pol berührende Flamme mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt, so steigt die Divergenz des Elektroskopes am entgegengesetzten Pole bis zum Maximum, ganz eben so, wie wenn jener Pol leitend berührt worden wäre. Dies geschieht, man mag den positiven oder negativen Pol mit der Flamme berühren. Es wirkt also die Flamme des Weingeistes wie ein guter Leiter, wenn sie an jedem Pole einzeln angebracht wird. Bringt man nun aber beide Poldrähte der Säule zugleich in die isolirte Flamme, ohne daß sie sich berühren, so zeigt sich, daß die Kette hierdurch nicht geschlossen wird; das Elektrometer fährt fort zu divergiren. Berührt man während dieser Anwendung der Flamme einen der zwei Pole ableitend, so erhält das Elektroskop am anderen Pol das Maximum der Divergenz, ganz eben so wie wenn die Säule vollkommen isolirt wäre und ihre Pole außer aller leitenden Verbindung ständen. Berührt man jedoch die Flamme selbst ableitend, so zeigt das Elektroskop am negativen Pol das Maximum der Divergenz, wie wenn einseitig der positive Pol ableitend berührt worden wäre, das Elektroskop am positiven Pol verliert jede Spur von Divergenz. Hier leitet also die Flamme den positiv elektrischen Zustand vollkommen, während sie für den negativen ein Isolator ist. Dieses Verhalten der Flamme führte Erman zu dem Begriff der unipolaren Leiter. Wie die Weingeistflamme wirken noch andere Körper, und wie diese sich gegen den positiven, so verhalten sich andere gegen den negativ elektrischen Zustand leitend. Deshalb unterschied Erman positiv- und negativ-unipolare Leiter. Zu den ersteren sollen gehören die Flammen aller wasserstoffreichen Körper, z. B. des Weingeistes, der fetten und ätherischen Oele, des Wachses, des Kampfers, der Harze &c., zu den letzteren die ganz trockne alkalische Seife, die Flamme des Phosphors, der ganz trockne Eiweißstoff.

Weitere Versuche über diesen Gegenstand wurden von Brugnatelli und Configliachi gemeinschaftlich angestellt **). Ihre Resultate stimmten mit den von Erman erhaltenen darin überein, daß bei Anwendung der Weingeistflamme und ableitender Berührung derselben die rückständige Spannung des negativen Pols stets auf ihr Maximum gebracht wurde, während der positive Pol ohne alle Spannung zurückgeblieben war. Nicht so constant und in geringerem Grade zeigte sich dagegen die trockne Seife in ihren Versuchen negativ polar. Viele Körper aus allen drei Naturreichen zeigten in geringerem Maße die Erscheinung der Unipolarität, in sofern nämlich als durch sie die rückständige Spannung an dem einen Pol erhöht, an dem anderen vermindert wurde. Sogar Metalle zeigten mitunter diese Erscheinung, wenn sie an der Berührungsstelle beschmutzt oder oxydirt waren. Brugnatelli und Configliachi erklären diese Erscheinungen zum Theil aus

*) Gilb. Ann. Bd. XI. S. 149.
**) Gehler's Journ. der Phys., Chem. u. Min. Bd. VIII. S. 319.

einem Unterschiede der Leitungsfähigkeit auf beiden Seiten solcher Körper. Dieser Unterschied könne durch mannichfaltige sehr veränderliche Umstände herbeigeführt werden, namentlich durch den verschiedenen Grad der Befeuchtung, durch die verschiedene Ausdehnung, durch die verschiedene Innigkeit und Ausdehnung der Berührung mit dem Poldrahte selbst. Sie fanden nämlich auch, daß ein und derselbe unvollkommene Leiter, der in der einen Lage sich als positiv unipolarer Leiter verhielt, bei der Umkehrung vorzugsweise den negativen Pol ableitete und sich als ein negativ unipolarer Leiter darstellte. Bei solchen Substanzen hingegen, welche bezüglich ihrer Unipolarität stets dasselbe Verhalten zeigen, die also immer den einen Pol vorzugsweise oder ausschließend ableiten, an welcher Stelle in ihrer Ausdehnung man auch die Ableitung anbringen mag, soll nach denselben Physikern der Grund der Erscheinung hauptsächlich in dem elektromotorischen Verhalten dieser Substanzen gegen andere Körper liegen. Wenn z. B. die Seife in Berührung mit den Leitern, welche die Verbindung mit dem Erdboden herstellen, positiv elektrisch wird, so kann sie diesen Zustand dem negativen Pol mittheilen und dessen Elektricität neutralisiren. Umgekehrt soll es sich z. B. mit der reinen Wasserstoffgasflamme verhalten, indem diese mit dem Metalldrahte, der sie mit der Erde leitend verbindet, negativ elektrisch werde, und dann durch Mittheilung den elektrischen Zustand des positiven Pols aufhebe. — Prechtl *) suchte gleichfalls die Erscheinungen der sogenannten Unipolarität vorzugsweise aus einer ungleichen Leitung auf beiden Seiten der betreffenden Körper herzuleiten.

Nach Untersuchungen von Ohm liegt die Ursache der unipolaren Leitung nicht ursprünglich in den Körpern selbst, sondern wird erst durch den elektrischen Strom in den betreffenden Körpern veranlaßt. Ohm fand, daß die Ausbildung der unipolaren Eigenschaft der Seife in einer zwar sehr kurzen, aber dennoch wahrnehmbaren Zeit geschehe. Der Grund der Unipolarität müsse also eine bei der Einbringung in die Kette geschehende Aenderung in der Seife sein. Auch hat Ohm nachzuweisen gesucht, daß in der Seife unter dem Einfluß der Kette eine Zersetzung vor sich gehe. Hiernach scheint also die negative Unipolarität der Seife erst dadurch zu entstehen, daß vermöge chemischer Wirkung der Kette auf die Seife, welche zur Schließung dient, sich ein schlecht leitender Ueberzug an der Berührungsfläche des positiven Poldrahtes mit der Seife bildet. Aehnliche Ursachen scheinen auch der Unipolarität anderer Körper und der Flammen zu Grunde zu liegen.

Was die elektrischen Eigenschaften der Flammen noch insbesondere betrifft, so hat Hankel durch Versuche an den Flammen des Alkohols und Aethers nachgewiesen, daß verschiedene Theile der Flamme ein elektromotorisches Verhältniß (eine elektrische Differenz oder einen elektrischen Gegensatz) darbieten, vermöge dessen die Flamme auf geeignete Weise in einen leitenden Kreis eingeschlossen, einen elektrischen Strom veranlaßt, auf dessen Stärke sowohl die Größe der Flamme als auch die Lebhaftigkeit der Verbrennung Einfluß hat. Zur Wahrnehmung dieses Stromes bediente man sich eines Multiplicators mit möglichst langem Drahte und möglichst vielen Windungen. Ein bedeutender elektrischer Gegensatz findet in der Flamme in der Richtung von unten nach oben statt. Man kann denselben nach

*) Gilb. Ann. Bd. XXXV. S. 28.

Hankel leicht nachweisen, wenn man eine Spirituslampe mit doppeltem Luftzuge mit der Erde und einer Platte eines guten Condensators verbindet, während ein in der Flamme derselben isolirt aufgestelltes Platinblech (oder Platindraht) mit der anderen Condensatorplatte verbunden ist. Jene, die obere Condensatorplatte erhält sogleich positive Elektricität. Wenn man umgekehrt die Lampe isolirt und mit der oberen Condensatorplatte verbindet, und das in der Flamme aufgestellte Metallblech mit der Erde und der unteren Condensatorplatte in leitende Verbindung bringt, so erhält die obere Condensatorplatte durch die Lampe positive Elektricität. Bezüglich der weiter getroffenen Einrichtungen dieser Versuche müssen wir hier auf die Abhandlung selbst verweisen.

Wir haben gleich im Anfange unserer Betrachtungen über die elektrischen Eigenschaften der Flamme hervorgehoben, daß sie in gewisser Beziehung ein ausgezeichneter Leiter sei, in sofern nämlich, als sie die Fähigkeit besitzt, die Elektricität eines anderen Körpers schon aus beträchtlicher Entfernung abzuleiten. In dieser Beziehung wurde das Leitungsvermögen der Flamme Gegenstand eines Streites *) zwischen Rieß und van Rees. Der Erstere macht darauf aufmerksam, daß über der elektrisch wirkenden Flamme eine Dampfsäule stehe, welche die Elektricität gut leite, in einer nach der Lebhaftigkeit der Verbrennung veränderlichen, aber jedenfalls gegen die Länge der Flamme bedeutenden Höhe noch mit der Flamme zusammenhänge, und sich in der Luft verliere, welche die Elektricität schlecht leite. Indem nun die umgebende kältere Luft in die aufsteigende Dampfmasse allenthalben einschneidet, wird die letztere ausgezackt, so daß dieselbe eine Menge nach allen Seiten in die Luft hineinragender Spitzen erhält, die dann in derselben Weise wie Metallspitzen auf einen elektrisirten Körper wirken. Die bekannten elektrischen Wirkungen der Flamme erklärt Rieß im Allgemeinen durch eine Influenzerscheinung, indem er annimmt, daß der neutrale Körper, sei er die Flamme oder der *entfernte* Leiter, durch Influenz (Vertheilung) und Ausströmung der Elektricität *bleibend* geladen wird. Die bedeutende Steigerung des Processes der elektrischen Vertheilung durch Anbringung der Flamme auf den influencirten Körper wird den Spitzen der Dampfsäule und dem dadurch bewirkten Ausströmen der einen Influenzelektricität oder, was dasselbe, der Mittheilung des einen durch die Influenz hervorgebrachten, elektrischen Zustandes an die Luft zugeschrieben. Befindet sich auf einem elektrisirten Körper eine Spitze oder eine Flamme, so wird ein entfernter Leiter durch Influenz elektrisirt, so daß seine der Flamme nächsten Punkte negative Elektricität erhalten, wenn jener Körper positiv elektrisch ist. Bei einer gewissen Entfernung der Flamme von dem anfänglich neutralen Leiter werden nun die erwähnten nächsten Punkte so stark elektrisch, daß die an ihnen angehäufte negative Elektricität den Leiter verläßt, während der positiv elektrische Zustand zurückbleibt. Während dies geschieht, theilt sich aber auch die Elektricität des vertheilend wirkenden Körpers vermittelst der Flamme der nahe liegenden Luft mit. In Folge dieses Processes gewinnt es den Anschein, als ob die der Spitze oder Flamme mitgetheilte Elektricität auf den genäherten Leiter wirklich übergegangen sei. Van Rees stützte dagegen seine Erklärung der elektrischen Flammenwirkung auf

*) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 545; Bd. LXXI. S. 568; Bd. LXXIII. S. 41. 307; Bd. LXXIV. S. 379. 380.

die Beweglichkeit der Flammentheilchen, und nahm später noch die Beweglichkeit der Theilchen der über der Flamme befindlichen leitenden Gassäule hinzu. Außerdem beruht seine Erklärung auf der von Faraday sogenannten fortführenden Entladung, welche durch die sich fortwährend von der Flamme ablösenden Gastheilchen begünstigt werden soll. Wenn ein elektrisirter Körper durch eine nicht isolirte Spitze oder Flamme entladen wird, so wird die Spitze oder Flamme zunächst durch die Influenz des Körpers entgegengesetzt elektrisch und bei hinreichender Näherung erreicht ihre elektrische Dichtigkeit bald den Grad, wobei die sie berührenden Lufttheilchen eine Ladung empfangen. Diese von der Spitze abgestoßenen, vom Körper angezogenen Lufttheilchen gehen auf letzteren über und neutralisiren die daselbst angehäufte Elektricität. Uebrigens wird diese Art von elektrischer Mittheilung von Rieß in besonderen Fällen nicht geradezu in Abrede gestellt, eben so wenig, daß die Beweglichkeit der Gassäule zur betrachteten Erscheinung mitwirke, wohl aber, daß dieselbe zur Hervorbringung der Erscheinung wesentlich nothwendig sei. Rieß benutzt neben der elektrischen Mittheilung vorzugsweise die Influenz zur Erklärung der Flammenwirkung Durch Anwendung des Princips der Influenz erklären sich die betreffenden Erscheinungen, ohne daß es dabei nöthig ist, auf die sogenannte fortführende Entladung ein besonderes Gewicht zu legen.

Zu den besseren Leitern der Elektricität rechnet man noch die verschiedenen Theile des thierischen Körpers, so lange sie frisch sind, namentlich alle animalische Flüssigkeiten. Auch die frischen saftigen Pflanzentheile leiten die Elektricität, obschon weniger gut als thierische Theile. Die wässerigen Pflanzensäfte leiten ebenfalls, und zwar besser als Wasser. Die Säfte einiger Pflanzen leiten die Elektricität besser als die anderer, wie dies schon aus der Erfahrung folgen soll, daß der Blitz lieber z. B. in Eichen als in Tannen und Buchen einschlägt. — Pouillet setzt den Widerstand des menschlichen Körpers, wenn beide Hände befeuchtet, in Quecksilber getaucht werden, gleich dem eines Kupferdrahtes von 1 Millim. Dicke und 50000 Meter Länge.

Zu den Nichtleitern oder Isolatoren der Elektricität gehören alle diejenigen Stoffe, welche als Mittelglieder in eine gute Leitung, z. B. von Metalldrähten gebracht, die Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände entweder ganz verhindern, oder wenn sie gegen die Menge oder vielmehr Spannung der erregten Elektricität von zu geringer Masse sind, beim Uebergange derselben durch die Leitung, eine explosive Entladung, eine Platzung verursachen. Unter den starren Körpern gehören zu den vorzüglichen Isolatoren: das Glas, sowohl das natürliche als künstliche, die durchsichtigen Edelsteine, die Harze: Schellack, Siegellack, Federharz, Gutta Percha, Collodion, Wachs, besonders auch die trockenen Hautbedeckungen der Thiere: Haare, Pelzwerk, Federn, das Gespinnst der Seidenraupe und die aus demselben bereitete Seide. Auch der Zucker, trockenes arabisches Gummi, die trockenen Pflanzensäuren und Pflanzensalze, Holz, Rinde (beide nur im höchst trockenen Zustande), Baumwolle, sind Nichtleiter, wogegen die Faser des Leines, das Garn und die daraus gewebten Zeuge, Hollundermark auch ausgetrocknet Leiter der Elektricität sind. Die fetten Oele des Pflanzenreiches gelten als gute Isolatoren, so wie nach Priestley auch die ätherischen und brenzlichen Oele und die natürlichen Balsame. Aus dem Thierreiche geben alle fetten Substanzen (Talg, Wachs, Wallrath 2c.) Isolatoren,

so wie auch die ausgetrockneten Theile des thierischen Organismus, welche im natürlichen saftreichen Zustande Leiter sind. Ferner werden zu den Isolatoren gerechnet die Metalloide, alle brennbaren Mineralien, mit Ausnahme der Kohlenblende (Anthracit), der mineralischen Holzkohle und des Graphits. Endlich sind auch Isolatoren die trockene Luft, überhaupt alle Gasarten und Dämpfe, letztere, so lange sie sich im vollkommenen Gaszustande befinden. Daß Eis ein Nichtleiter der Elektricität ist, und zwar um so mehr, je kälter es ist, haben wir im Art. Eis besonders hervorgehoben.

Die Isolationsfähigkeit des Glases hängt von dessen eigenthümlicher Beschaffenheit ab; es giebt Gläser, die zu den Leitern gerechnet werden müssen, wie schon Hemmer und Cavallo bemerkt haben *). Viele Isolatoren, darunter das Glas, werden auch, namentlich an ihrer Oberfläche durch adhärirende Feuchtigkeit zu Leitern der Elektricität.

Achard **) fand, daß die besten Isolatoren, namentlich eine Glasstange, rothglühend gemacht, geschmolzenes Siegellack, Pech, Bernstein, Schellack, Wachs, in den Erschütterungskreis einer Leidner Flasche gebracht, letztere eben so vollständig entluden, wie jeder andere Leiter. Eben so verhielten sich die flüssigen Nichtleiter bei der Erhitzung.

Ueber die elektrische Leitungsfähigkeit, welche Isolatoren durch Temperaturerhöhung erlangen, hat in neuerer Zeit Beetz Untersuchungen angestellt ***). Unter den zusammengesetzten Körpern sollten einige durch Erwärmen Leitungsfähigkeit gewinnen, ohne deshalb Elektrolyte zu werden. Dahin gehören nach Faraday: Schwefelsilber, Jodsilber, Fluorblei. Hittorf zeigte aber, daß das erstere anfänglich eine Zersetzung erleidet, nachher jedoch durch das abgeschiedene Silber eine metallische Leitung sich bildet. Beetz fand Fluorblei gut leitend, aber auch elektrolytisch. Dabei entwickelte sich am negativen Platindrahte eine schwammige Legirung von Blei und Platin, am positiven ein Gas in Blasen, welches das Platin stark angriff, also sehr wahrscheinlich Fluor. Das Fluorblei ist daher ein Elektrolyt und folgt deshalb auch dem elektrolytischen Gesetz. Kieselsäurehaltige Verbindungen werden ebenfalls durch die Wärme leitend. Wasserglas nimmt schon bei gelinder Erwärmung Leitungsfähigkeit für ganz schwache galvanische Ströme an. Sobald dies geschah, und noch vor dem Schmelzen des Glases, erschienen die Platinbleche, welche den Glasstreifen trugen, polarisirt. Als ein Strom bei beginnender Erweichung eine halbe Stunde gewirkt hatte, wurde das Glas abgekühlt und von den Unterlagen gebrochen. Das Wasserglas hatte zuvor etwas alkalisch reagirt, jetzt war diese Reaction an dem Ende, welches auf dem positiven Blech gelegen hatte, verschwunden, am anderen verstärkt. Dieser Körper war also elektrolysirt. Mit Reibungselektricität nahm das Wasserglas ebenfalls die Polarisationen in der zu erwartenden Richtung an, nur sind hier die Wirkungen so schwach, daß man sich vor den thermoelektrischen Strömen sehr hüten muß, die durch ungleiche Erwärmung der beiden Berührungsstellen von Glas und

*) Journ. de Physique. T. XVI. p. 51. Vergleiche auch Gilb. Ann. Bd. XXIV. S. 325.

**) Journal de Physique. T. XV. p. 118.

***) Monatsber. der Berl. Akademie. S. 301. Zeitschrift für die Gesammt. Naturw. vom naturw. Ver. für Sachs. und Thür. 1854. Nr. IX. S. 226.

Metall entstehen. Dies geschah durch Anwendung eines Sandbades, da Sand auch bei starker Temperaturerhöhung so wenig leitet, daß er ein Elektroskop nur langsam entladet. Aehnliche Versuche wurden mit gewöhnlichem Glas angestellt, in das jedesmal zwei Platindrähte so eingeschmolzen wurden, daß sie sich nicht berührten. Die Polarisationen traten regelmäßig ein, ein Beweis, daß Zersetzung stattgefunden hatte. Nach Beendigung der Versuche blieben chemisch veränderte Theilchen des Glases auf den Unterlagen zurück. Den Anfang des Leitungsvermögens für galvanische Ströme fand Beetz bei verschiedenen Glasorten zwischen 200 und 220°, nach Becquerel bei 300°. — Nach diesen Versuchen bleibt kein Körper übrig, der bei zunehmender Temperatur leitender wurde und nicht elektrolytisch leitete, d. h. so, daß mit der Leitung eine Zersetzung verbunden war. Beetz hat auch durch Sublimation gereinigtes Jod zwischen Platindrähten, wenn gleich schwach, leitend gefunden. Die Drähte waren aber jedesmal polarisirt, so daß die Leitung eine elektrolytische, und dieselbe einer flüchtigen Beimengung, vielleicht von Jodwasserstoffsäure, zuzuschreiben war.

Wenn die Entladung der Leidner Flasche durch eine Luftstrecke geschieht, so steht die Schlagweite nach Versuchen von S. Harris im umgekehrten Verhältniß zur Dichtigkeit der Luft, was auch für andere Gasarten gilt. Was den Einfluß der Gasart auf die Schlagweite betrifft, so ist hierüber im Artikel Flasche, elektrische (Bd. III. S. 257) eine Tabelle von Faraday mitgetheilt worden, aus der hervorzugehen scheint, daß außer der Dichte der Gase noch ein ihnen eigenthümliches Leitungsvermögen von Einfluß ist, so daß die Gase, obgleich sogenannte Nichtleiter, doch mit verschiedener Fähigkeit versehen sind, die Elektricität zu zerstreuen oder durchzulassen. Auch werden die Gase durch gesteigerte Erhitzung immer mehr zu Leitern der Elektricität.

Aus den bisher angestellten Betrachtungen ergiebt sich, daß nach Maßgabe der Temperatur, des Feuchtigkeitszustandes, der Gruppirung der kleinsten Theilchen und anderer Umstände selbst ein und derselbe Körper als Nichtleiter, schlechter Leiter und guter Leiter auftreten könne. Man hat es daher auch für überflüssig erachtet, noch eine besondere Klasse von Körpern unter dem Namen von Halbleitern der Elektricität zu unterscheiden. Man rechnete zu derselben namentlich diejenigen Körper, welche auch nach einer mäßigen Austrocknung noch einen Antheil Feuchtigkeit zurückhalten und durch diesen zu mittelmäßigen Leitern werden, wie Elfenbein, Schildpatt, Knochen, Horn, Leder, Papier, Pergament, gewöhnliches Holz, Marmor, Alabaster u. a. m.

Es sei hier noch einer Vorrichtung von Rousseau *) erwähnt, des sogenannten Diagometer's (griech. Leitungsmesser), welche auf den Art. Galvanismus verwiesen war, aber in diesem Artikel eine passendere Stelle findet. Dieser Apparat sollte dazu dienen, die relative Isolationsfähigkeit oder das relative Leitungsvermögen verschiedener Flüssigkeiten zu ermitteln. Eine trockene (Zambonische) vertikale Säule wird mit ihrem unteren Pol mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt, während ihr oberer Pol durch einen Metalldraht mit einem isolirt vertikalen Stifte communicirt, auf welchem eine horizontale schwach magnetische Stahlnadel im magnetischen Meridian schwebt. In der nämlichen

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXV. p. 373.

Höhe mit der Nadel und in einer Entfernung vom Stifte, welche fast der halben Länge der Nadel gleich ist, findet sich eine, ebenfalls mit dem oberen Pol der Säule in leitender Gemeinschaft stehende, übrigens isolirte, Metallkugel, oder ein Scheibchen von Metall, welches so angebracht ist, daß es gerade vor dem einen Ende der Nadel steht. Da sich nun die Elektricität des oberen Poles sowohl in das Scheibchen als in die Nadel verbreitet, so muß hierdurch eine Abstoßung entstehen, welche die Nadel von dem Scheibchen abzulenken strebt. Nach einigen Oscillationen wird die Nadel zuletzt unter einem gewissen Ablenkungswinkel von dem Scheibchen stehen bleiben. Die Zeit nun, in welcher die Nadel zu Ruhe kommt und das Maximum der Ablenkung erreicht, ist größer oder kleiner, je nachdem man auf dem Wege, den die Elektricität von der Säule bis zum Scheibchen zu durchlaufen hat, Flüssigkeiten von schlechterem oder besserem Leitungsvermögen einschaltet, und durch Vergleichung dieser Zeiten für verschiedene Flüssigkeiten lassen sich ungefähr größere oder kleinere Differenzen ihres Leitungsvermögens bestimmen. Es ist aber erforderlich, daß die Länge und Dicke der zu durchlaufenden Schicht der flüssigen Körper immer von gleicher Größe sind, was Rousseau dadurch erlangte, daß er sie in ein metallenes Schälchen that, dessen Boden mit der Nadel und dem Scheibchen communicirt, und nun den Verbindungsdraht von der Säule stets bis zu derselben Tiefe einsenkte, worauf er die Dauer der Bewegung der Nadel maß. Auf diese Weise fand Rousseau, daß das Olivenöl ein viel geringeres Leitungsvermögen als die meisten anderen Oele besitzt. Bei Buchecker- und Mohnöl waren nur 27 Secunden erforderlich, um eine Ablenkung hervorzubringen, welche beim Olivenöl erst nach 40″ eintrat. Wenn dem Olivenöl $^1/_{100}$ eines anderen Oels zugefügt wurde, so reducirte sich diese Zeit von 40 auf 10″. In ähnlicher Weise suchte Rousseau diese Vorrichtung auch für feste Körper zu verwenden.

Viele Krystalle besitzen nach ihren verschiedenen Dimensionen eine verschiedene Leitungsfähigkeit für die Elektricität, worüber Wiedemann *) Versuche angestellt hat, deren Resultate in der Hauptsache im Art. Figuren, elektrische (Bd. III. S. 194) mitgetheilt worden sind. Derselbe benutzte nämlich zur Darstellung dieser ungleichen Leitungsfähigkeit die Lichtenberg'schen Figuren. Wenn man eine Glas- oder Pechfläche, oder die Fläche eines zum regulären Systeme gehörigen Krystalls mit einem Pulver wie Semen lycopodii bestreut und eine normal auf der Fläche stehende Metallnadel mit dem Knopfe einer auf der inneren Belegung positiv geladenen Flasche berührt, so entsteht durch die theilweise Entblößung der Fläche vom Staube eine Figur, deren Strahlen von der Nadelspitze aus ziemlich gleich lang sind. Wird hingegen zum Versuche ein nicht zum regulären Systeme gehöriger Krystall angewendet, z. B. Gyps, so sind die Strahlen in einer Richtung am längsten, in der senkrecht darauf stehenden am kürzesten. Die Figur ist also im ersten Falle kreisförmig, im zweiten elliptisch. Die Kreisform lehrt, daß die Leitung in allen Richtungen der Fläche gleich gut, die elliptische Form, daß sie ungleich sei, und zwar giebt die große Axe der Ellipse die Richtung der besten Leitung an. Wiedemann fand auf diese Weise, daß einige Krystalle, welche zu den optisch negativen gehören, in der Richtung der krystallographischen Axe die Elektricität am besten leiten, andere Krystalle, die mit Ausnahme des

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 404; Bd. LXXVII. S. 534.

Feldspaths zu den optisch positiven gehören, hingegen in der Richtung am besten leiten, welche auf dieser Axe senkrecht steht.

Aehnlich wie die Elektricität wird auch die Wärme von gewissen Krystallen nach verschiedenen Richtungen ungleich geleitet (s. d. Art. Wärmeleitung). Maggi *) fand nun, daß magnetisirtes weiches Eisen die Wärme in der Richtung winkelrecht gegen die Verbindungslinie der Pole besser leitet, als in dieser Linie selbst. Es fragt sich, ob solches Eisen nicht einen ähnlichen Unterschied in Bezug auf das elektrische Leitungsvermögen darbietet. Aeltere Versuche liegen von Fischer **) und Abraham ***) vor. Nach Ersterem soll der Magnetismus das Leitungsvermögen des Stahles schwächen, während der Letztere das Gegentheil behauptet. Wartmann ****) konnte keine Veränderung der elektrischen Leitungsfähigkeit durch Einwirkung des Magnetismus finden, eben so wenig in neuerer Zeit Edlund *****), dessen Versuche zu dem Resultate führten, daß das weiche Eisen beim Magnetisiren sein Leitungsvermögen nicht merklich verändere, in welcher Richtung auch die Elektricität (bezüglich der Verbindungslinie beider Pole) durch dasselbe gehen möge.

Wir wissen, daß wir den Erdkörper selbst als einen Leiter zu betrachten haben, und weil er eine so große Oberfläche darbietet, ist er besonders geschickt, anderen Körpern die Elektricität zu entziehen oder diese letztere abzuleiten. Nach den Bemühungen von Steinheil ist es jetzt gebräuchlich, bei Telegraphenlinien den Erdboden in den leitenden Kreis der galvanischen Kette einzuschalten, so daß derselbe etwa die eine Hälfte der ganzen Leitung ausmacht. Versuchen von Matteucci †) und Jacobi ††) zufolge hat sich nun ergeben, daß der Leitungswiderstand des Erdbodens, selbst auf sehr große Entfernungen, fast Null ist. Dieses Resultat kann auf den ersten Blick etwas befremdend erscheinen, wenn man bedenkt, daß die Leitungsfähigkeit einer feuchten Erdstrecke doch bei weitem geringer ist als die des Telegraphendrahtes. Man könnte hier zwar an eine Ausgleichung denken auf Grund des breiten Querschnitts, den die Erde darbietet; allein dies scheint nicht auszureichen, um die Versuche in Einklang mit anerkannten Gesetzen der Elektricität zu bringen. Das Auffallende verschwindet jedoch, wenn man theoretisch genauer die Art und Weise betrachtet, wie die Entladung der galvanischen Kette unter den gegebenen Umständen von Statten geht. Das Nähere hierüber †††) und über jene Versuche in den Art. Strom, elektrischer und Telegraphie.

Wir wollen nun zum Schlusse dieses Artikels noch einige theoretische Erklärungen geben, welche als Ergänzung zu den theoretischen Betrachtungen in den Art. Elektricität, Galvanismus ꝛc. anzusehen sind. Auf Grund der

---

*) Arch. d. scienc. phys. et nat. T. XIV. p. 132.

**) Kastner's Arch. Bd. III. S. 421.

***) Pogg. Ann. Bd. I. S. 357.

****) Arch. d. scienc. phys. et nat. T. XIII. p. 35.

*****) Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 315.

†) Compt. rend. T. XXII. p. 86.

††) Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 208.

†††) Vergl. auch Cornelius: Die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus ꝛc. Leipzig 1855. S. 44 ff. u. S. 89 ff.

Betrachtungen im Art. Elektricität nehmen wir ein elektrisches Fluidum an, dessen Elemente die Massentheilchen der Körper in der Form von Sphären einhüllen. Da nun die Massentheilchen verschiedener Körper verschieden sind, sowohl qualitativ als auch hinsichtlich ihrer Gruppirung, so werden auch die Sphären, welche die Elemente des Elektricums um die verschiedenen Massentheilchen vermöge gegenseitiger Anziehung gebildet haben, nicht durchweg von gleicher Constitution sein; denn ohne Zweifel werden die verschiedene qualitative Beschaffenheit und Gruppirung dieser Massentheilchen von Einfluß sein müssen auf die Gruppirung der elektrischen Elemente. Demgemäß wird den letzteren ein verschiedener Grad der Beweglichkeit in verschiedenen Körpern zukommen. Der Unterschied zwischen den Leitern und Isolatoren oder zwischen den guten und schlechten Leitern beruht nun zunächst darauf, daß die elektrischen Sphären den Massentheilchen der letztgenannten Körper mit größerer Energie adhäriren, indem die Elemente des Elektricums um diese Massentheilchen beharrlicher gruppirt sind. Die elektrischen Sphären der schlechten Leiter werden sich darum auch weniger leicht aus ihrer Gleichgewichtslage entfernen lassen (z. B. beim Proceß der elektrischen Vertheilung u. dergl.) als die Sphären der guten Leiter.

Man denke sich einen mehr oder weniger guten Leiter zwischen den Polen einer galvanischen Kette oder den beiden Belegungen einer geladenen Leidner Flasche. Nun bezeichnet (s. d. Art. Elektricität und Galvanismus) der sogenannte negativ elektrische Zustand denjenigen Zustand eines Körpers, worin dieser mehr Elektricum als im gewöhnlichen Zustande enthält, während er im positiv elektrischen Zustande weniger davon besitzt. Es ist also am negativen Pol einer galvanischen Kette oder auf der negativen Belegung einer Leidner Flasche Elektricum angehäuft. Das auf der Oberfläche eines Körpers angehäufte Elektricum übt aber einen bestimmten Druck auf die elektrischen Sphären aus, welche um die Massentheilchen der umgebenden Materie vorhanden sind. Dadurch erleiden diese Sphären eine Veränderung ihrer Gestalt, indem sie nach der entgegengesetzten Seite hin zurückgedrängt werden. Ein positiv elektrisirter Körper sucht hingegen Elektricum aus der Umgebung aufzunehmen, so daß die elektrischen Sphären der letzteren sich zu demselben hindehnen. Befindet sich also ein mehr oder weniger guter Leiter zwischen den Belegungen einer Leidner Flasche oder zwischen den Polen einer galvanischen Kette, so wird das am negativen Pol angehäufte Elektricum in diesen Leiter einzudringen suchen, indem es die elektrischen Sphären um die Massentheilchen des letzteren nach der entgegengesetzten Seite hin verdrängt, während der positive Pol auf der anderen Seite dem Leiter Elektricum zu entziehen sucht. Es findet demnach in dem eingeschalteten Leiter eine Verschiebung seiner elektrischen Sphären von dem negativen nach dem positiven Pol hin statt. Und im Augenblick der Entladung dringt eben so viel Elektricum vom negativen Pol in den Leiter ein, als der positive Pol von dem letzteren aufnimmt. Man sieht nun leicht ein, daß die Leichtigkeit, womit dieser Proceß (und mit ihm auch die Leitung der Elektricität) von statten geht, abhängig sein wird von der größeren oder geringeren Beweglichkeit der elektrischen Sphären in dem zwischen den Polen eingeschalteten Körper. Je größer diese Beweglichkeit ist, desto nachgiebiger werden die elektrischen Sphären des betreffenden Körpers gegen den elektrischen Druck sein, der vom negativen Pol ausgeht, und um so leichter werden dieselben auch der Anziehung Folge leisten können, welche von dem positiven Pol ausgeübt wird.

Die elektrischen Sphären um die Massentheilchen der Leiter lassen sich hiernach vergleichen *) mit den Theilchen einer expansibeln Flüssigkeit, die durch einen Druck leicht comprimirt wird und in der Richtung desselben eine beträchtliche Verschiebung ihrer Theilchen erleidet. Bei einem schlechten Leiter findet dies natürlich in einem viel geringeren Grade oder unter Umständen auch gar nicht statt. Bei einem sogenannten Isolator ist eine bedeutende Gewalt erforderlich, um eine beträchtliche Verschiebung seiner elektrischen Sphären in dem angegebenen Sinne zu bewirken, und die Folge davon ist öfter nur die, daß die Massentheilchen des Isolators selbst, indem die elektrischen Sphären aus dem natürlichen Zusammenhange mit denselben herausgerissen werden, ihren eigenen Zusammenhang verlieren, so daß der Isolator durch die Entladung eine Zertrümmerung (Platzung) erleidet.

Während der Entladung (oder Leitung der Elektricität) findet nun ein Uebergang der elektrischen Elemente von einem Massentheilchen zum anderen statt, indem die elektrische Sphäre jedes vorhergehenden Massentheilchens in das des folgenden eingreift. Dieser Uebergang des Elektricums geht wahrscheinlich im Allgemeinen um so besser von statten, je dichter die Massentheilchen an einander liegen. Bei den Metallen nimmt die Leitungsfähigkeit mit wachsender Temperatur ab, weil mit der Ausdehnung durch die Wärme auch die Dichte der Metalle sich vermindert. Die Erwärmung kann aber auch noch andere Folgen haben als die bloße Ausdehnung. Es läßt sich denken, daß mit der Erwärmung die Anziehung zwischen den elektrischen Sphären und den Massentheilchen geringer wird, so daß dadurch die Beweglichkeit der ersteren wächst, und dieselben hiermit eine größere Fähigkeit gewinnen, einem vertheilenden Einfluß nachzugeben. Es wird also, wenn dem so ist, das Leitungsvermögen durch die Erwärmung vermehrt werden. Für die Metalle ist dies von geringerer Bedeutung, weil den elektrischen Sphären ihrer Massentheilchen schon anfänglich gewissermaßen eine größere Elasticität zukommt. Bei ihnen überwiegt deshalb der verzögernde Einfluß der Erwärmung, welcher von der verminderten Dichte herrührt. Bei den tropfbaren Flüssigkeiten und verschiedenen Isolatoren aber, um deren Massentheilchen die elektrischen Sphären von Haus aus beharrlicher gruppirt sind, verhält es sich umgekehrt. Hier hat der andere Einfluß der Erwärmung, welcher die elektrischen Sphären beweglicher macht, das Uebergewicht. Alsdann kommt bei diesen Flüssigkeiten noch ein anderer Umstand in Betracht. Der Entladung einer galvanischen Kette durch einen flüssigen Leiter geht nämlich eine besondere Anordnung der kleinsten Massentheilchen dieses Leiters voraus (siehe den Artikel Galvanismus Bd. III. S. 366, 369 ff.), eine Anordnung, welche von den Polen aus bewerkstelligt wird. Der Act der Entladung selbst und der damit verbundene Uebergang der Elektricität von einem Massentheilchen zum anderen (also auch die Leitung der Elektricität) findet erst dann statt, wenn die Elemente des flüssigen Leiters die erwähnte Anordnung gewonnen haben. Durch diese Anordnung der kleinsten Theilchen ist aber auch die Zersetzbarkeit der Flüssigkeit bedingt. In sofern nun durch die Erwärmung nicht allein die elektrischen Sphären, sondern auch die Massentheilchen selbst eine größere Beweglichkeit gewinnen, wird mit der Temperaturerhöhung sowohl das Leitungsvermögen als auch die Zersetzbarkeit der Flüssigkeiten

*) Cornelius, Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus x. S. 41 ff.

bis zu einem gewissen Grade zunehmen. Auch hängt es hiermit zusammen, daß manche Flüssigkeiten, wie Zinkvitriollösung und Schwefelsäure im concentrirten Zustande weniger gut leiten als im Zustande einer mäßigen Verdünnung, weil in jenem wegen einer gewissen Schwerflüssigkeit die Beweglichkeit der Massentheilchen beeinträchtigt ist.

Leiter der Wärme, s. Wärmeleitung.

Leitungsvermögen (-fähigkeit), s. Leiter der Elektricität.

Leitungswiderstand, s. Leiter der Elektricität.

Leuchtgas, s. Gasbeleuchtung.

Leuchtthürme, s. Brennglas.

Libelle, Wasserwaage mit Luftblase (franz. niveau à bulle d'air) ist ein Instrument, dessen man sich zur Herstellung und Beobachtung einer horizontalen Richtung bedient, und dessen Einrichtung darauf beruht, daß in einem mit Flüssigkeit fast ganz gefüllten Gefäße der noch mit Luft gefüllte Theil stets die höchste Stelle einnimmt. An einer bis auf einen kleinen Theil gefüllten Weinflasche ist die betreffende Beobachtung leicht zu machen.

Die Form des Flüssigkeitsbehälters ist an sich beliebig, und danach könnte es sehr verschieden geformte Libellen geben, indessen sind doch nur zwei Formen in Gebrauch gekommen, nämlich die Dosen- und die Röhrenlibelle.

Die Dosenlibelle besteht aus einem kleinen cylindrischen Gefäße von 2 bis 4 Zoll Durchmesser und $^1/_2$ bis 1 Zoll Höhe, welches oben mit einem wasserdicht eingesetzten, nach oben ein wenig convexen Spiegelglase verschlossen ist. Das Gefäß, welches mithin die Form einer runden Dose hat, ist von Messing; der Rand desselben springt ringsherum etwa in der Höhe einer Linie über den Boden heraus, und in der Mitte des Bodens ist eine Oeffnung angebracht, welche durch eine Schraube verschlossen werden kann. Die Mitte des Deckglases ist mit einem Pünktchen oder einem kleinen Kreise bezeichnet und überdies umgeben dieselbe noch mehrere concentrische Kreise bis zu 1 Zoll Durchmesser, um den Stand der Luftblase besser beurtheilen zu können. Durch die Bodenöffnung füllt man die Dose mit Flüssigkeit, so daß nur ein kleiner Raum mit Luft gefüllt bleibt. Verschließt man hierauf die Oeffnung durch die Schraube und kehrt die Libelle um, so erblickt man am Glase eine Luftblase, und nun kommt es darauf an, daß diese genau in der Mitte steht, wenn die Dose auf eine horizontale Fläche, z. B. auf einen horizontal gestellten Meßtisch, gestellt wird. Um dies zu erreichen, wird an dem über den Boden vorspringenden Rande so lange abgeschliffen, bis die Luftblase genau in der Mitte des Glases ruhig steht. Es ist klar, daß die Dosenlibelle über die Horizontalität der Fläche Aufschluß giebt, welche von dem Boden eingeschlossen ist, also die Horizontalität nach allen Richtungen in dieser Fläche nachweist. In sofern ist die Dosenlibelle sehr bequem; indessen besitzt sie keine große Empfindlichkeit, weil sie in ihrem Durchmesser auf eine geringe Länge beschränkt bleiben muß, die Empfindlichkeit aber mit der Länge wächst. Deshalb wendet man die Dosenlibellen nur bei groben oder annähernden Bestimmungen an, nie aber, wo es, wie bei geodätischen und astronomischen Messungen, zur Prüfung und Berichtigung der Hauptbewegungen an den Instrumenten, zur Versicherung des horizontalen oder verticalen Standes der Theilungskreise, der unveränderten Lage der Nonien oder Mikroskope derselben, auf Genauigkeit ankommt.

Zu der Röhrenlibelle wird gewöhnlich eine 2 bis 9 Zoll lange, im Durchmesser 8 bis 9 Linien weite Glasröhre genommen, die bis auf einen kleinen, mit Luft erfüllten Raum mit Flüssigkeit gefüllt und an beiden Enden hermetisch verschlossen wird. Nicht sehr weite Röhren bläst man zu, wodurch einer Verdunstung der Flüssigkeit am besten vorgebeugt wird. Da dies Zublasen bei weiteren Röhren, noch dazu, wenn sie im Glase dick sind, seine Schwierigkeiten hat, so schleift man diese an beiden Enden stark konisch aus und schließt die Oeffnungen durch genau einpassende, ebenfalls konisch zugeschliffene Glasscheiben aus Spiegelglas. Deshalb wird zunächst die eine Oeffnung verschlossen, indem man das Schließungsglas mit einem schnell trocknenden Kitte aus Leinölfirniß und Silberglätte einkittet. Hierauf füllt man die Röhre mit der Flüssigkeit (Alkohol oder Schwefeläther, s. unten), zündet diese an, so daß ein Theil verzehrt wird, und drückt dann das bereits mit Kitt versehene Schließungsglas in die Oeffnung.

Die Röhre der Libelle wird ausgeschliffen. Wäre hierbei das Rohr im Innern seiner ganzen Länge nach genau cylindrisch geworden, so daß der Längendurchschnitt eine gerade Linie bildet; so würde die Blase, wenn es auch gelungen wäre, dieselbe in die Mitte des Rohres zu bringen, bei der geringsten Neigung, ja selbst bei dem geringsten Temperaturwechsel, also bei dem leisesten Hauche oder Luftzuge sofort aus der Stelle weichen und bis an das Ende der Röhre laufen. Kleine Abweichungen von der Horizontalität könnten mithin durch eine solche Libelle gar nicht bestimmt werden. Es ist daher nothwendig dem Rohre auf der oberen Seite eine schwache Krümmung zu geben. Je größer der Halbmesser dieser Krümmung ist, desto empfindlicher wird die Libelle. Ferner muß die Röhre calibrirt sein; denn ist dies nicht der Fall, so wird die Luftblase, welche bei verschiedenen Temperaturen verschieden lang ist, sich nach einer Seite mehr als nach der anderen verlängern oder verkürzen und daher die Mitte der Blasenlänge nicht immer die Mitte der Blase sein.

Je schwächer die Krümmung des Rohres ist, desto länger nimmt man in der Regel das Rohr, damit die Blase nicht sofort bei einer kleinen Neigung an das Ende des Rohres tritt. Es sei z. B. das Rohr 6 Zoll lang und die Blase 3 Zoll, die Krümmung sei aber der Art, daß bei einer Neigung von einer Minute die Blase um 1 Linie verschoben wird, so wird erst bei einer Neigung von 36 Minuten die Blase von einem Röhrenende bis zu dem anderen wandern; wäre aber die Krümmung der Art, daß eine Linie Verschiebung der Blase einer Neigung von einer Secunde entspräche, so würde die Blase schon bei einer Neigung von 36 Secunden sich von einem Ende der Röhre bis zu dem anderen bewegen. Hiernach scheint es zweckmäßig zu sein, recht empfindliche Libellen recht lang zu machen. Indessen überschreitet man doch nicht leicht die oben angegebene Länge bis zu 9 Zoll und den Durchmesser bis zu 9 Linien, weil die Veränderungen in der Länge der Luftblase dann bei eintretendem Temperaturwechsel sehr bedeutend werden.

Zur Füllung der Röhre nimmt man Alkohol oder Schwefeläther. Zu guten Libellen sollte nur der letztere gewählt werden. Durch das Abbrennen der Flüssigkeit beim Verschließen des Rohres wird nämlich der Raum, welcher die Blase bildet, bei einer Füllung mit Schwefeläther nahe luftleer, was bei Alkohol nicht so leicht eintritt, und daher kommt wohl die große Empfindlichkeit und Beweglichkeit der Aetherniveaus gegen die Alkoholniveaus bei sonst ganz gleicher Construction, wobei dennoch die Blase schneller zur Ruhe kommt. Ein Uebelstand ist

jedoch bei den mit Aether gefüllten Libellen die größere Veränderlichkeit der Blasenlänge. Es kann sein, daß bei + 30° R. die Blase fast ganz verschwindet, während dieselbe bei — 15° R. fast die ganze Röhrenlänge einnimmt. Da dies mit abhängig ist von dem Quantum der Flüssigkeit, so macht man die längsten Aetherniveaus nur mit einem Durchmesser von 6 bis höchstens 8 Linien.

Um durch ein Beispiel den Einfluß der Temperatur nachzuweisen, führen wir Beobachtungen von Struve an, welche derselbe in Zeit von 6 Monaten an einer Libelle von 10 Zoll engl. Länge, 0,8 Zoll äußerem Durchmesser, und eingetheilt in 110 Par. Linien gemacht hat. Die Libelle befand sich an dem im ersten Vertical zu Pulkowa aufgestellten großen Repsold'schen Passageninstrument. Bei + 20° R. ist die Blasenlänge = 30 Linien, bei — 20° R. = 100 Linien, und auf 1 Linie Ausschlag kommt eine Neigung von ungefähr einer Secunde.

Die Resultate der Beobachtungen waren folgende:

Thermometer	Halbe Blasenlänge in Theilen	Werth eines Theiles
+ 18°,5 R.	15,7	1″,08
15,9	18,8	1,04
12,9	21,5	1,00
6,4	28,2	0,99
0,1	33,5	1,01
— 4,1	36,9	1,01
— 9,1	40,5	0,99
— 11,0	41,9	1,01

Das Zweckmäßigste ist eine Blasenlänge gleich der halben Länge des Rohres bei einer mittleren Temperatur.

Die gefüllte und verschlossene Röhre kommt nun in ein messingenes Rohr CDD'C' (s. beisteh. Figur), welches von A bis B ausgeschnitten ist, so daß man die Röhre frei liegen sieht. In der Mitte zwischen A und B ist der höchste Punkt der kreisförmigen Krümmung AB der Glasröhre, und dort wird also auch, wenn die Libelle genau horizontal gestellt wird, die Luftblase stehen. Denkt man sich nun die Metallröhre entweder unten bei C' und D' mit zwei Fußgestellen, um sie dadurch z. B. auf einen Tisch zu stellen, oder oben bei C und D mit 2 Haken versehen, um sie dadurch an irgend eine Axe (z. B. an die Drehungsaxe eines Passageninstrumentes) zu hängen, so wird man in jenem Falle den Tisch und in diesem die Axe horizontal stellen können, wenn die Neigung des Tisches und der Axe durch Schrauben verändert werden kann, indem man so lange corrigirt, bis die Blase in der Mitte steht, vorausgesetzt, daß auf einem horizontalen Tische die Füße und bei einer horizontalen Axe die Haken so abgepaßt waren, daß die Blase die Mitte der Röhre einnahm. Um die Libelle dahin zu bringen, daß auf einem horizontalen Tische und an einer horizontalen Axe die Blase in der Mitte der Röhre steht, wird eins



jener Fußgestelle und einer jener Haken so eingerichtet, daß sie sich mittelst einer angebrachten Schraube etwas verlängern oder verkürzen lassen. Libellen zum Aufsetzen auf Flächen versieht man auch wohl mit einer massiven ebenen Platte, welche die beiden Fußgestelle trägt; mit dem einen ist die Libelle am Ende der Fassung durch eine Schraube in fester Verbindung oder durch ein Charnier eingelenkt, an dem anderen Fußgestelle kann das andere Röhrenende durch eine Schraube ein wenig gehoben oder gesenkt werden.

Ist die Libelle so weit hergestellt, daß auf horizontalem Tische oder an horizontaler Axe die Blase in der Mitte steht, so bringt man bei feinen Libellen noch Theilstriche an, welche dem Neigungswinkel entsprechen, welchen ein nicht genau horizontaler Tisch oder eine nicht genau horizontal liegende Axe mit dem Horizonte bilden. Bei guten Libellen ist immer auf den Verschlußplatten der Winkel angegeben, welcher der Entfernung der Theilstriche entspricht.

Ist dies mit Genauigkeit ermittelt, so kann man daraus leicht den Radius finden, nach welchem die Krümmung der Röhre geschliffen ist. Es sei a die Weite der Theilstreiche, w der Winkel in Secunden, der auf einen solchen Theil kommt, und der zur Krümmung gehörige Radius = R, so ist, da $2 R \pi = 1296000$ Secunden beträgt,

$$R = \frac{206265 \,.\, a}{w}.$$

Ist z. B. a = 1 Linie, und die Libelle so eingetheilt, daß auf 4 Theile Ausschlag ein Neigungswinkel von 10 Sec. kommt, so ist $R = \frac{206265 \,.\, 4}{10} =$ 82506 Linien oder nahe 573 Fuß.

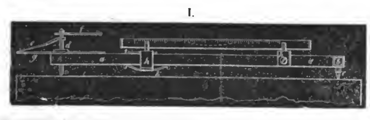
An den großen genauen astronomischen Instrumenten werden Libellen mit einer Krümmung von mehr als 1000 Par. Fuß Radius bisweilen verwendet. Daß die Röhre calibrirt sein müsse, ist schon oben erwähnt; hier machen wir nochmals darauf aufmerksam, weil, wenn die Röhre nicht calibrirt und der Bogen kein richtiger Kreisbogen ist, der Werth der Theilung nicht überall derselbe sein kann. Um sich von der Gleichwerthigkeit der Theile zu überzeugen, bedient man sich folgenden Apparates *):

Eine Stange a a von Eisen (s. umstehende Fig. I. u. II.) hat am einen Ende ein Querstück b von etwa 5 Zoll Länge, worin zwei gleich hohe Stahlspitzen c c eingeschraubt sind. Am anderen Ende geht eine feine und sehr genaue Schraube d durch dieselbe, welche den dritten Stützpunkt bildet, und wodurch der Stab am einen Ende sich höher und tiefer stellen läßt. Die Schraube trägt einen zwischen Spitzen beweglichen Zeiger e und einen Arm f, an welchem sie umgedreht wird; auf der Stange ist eine eingetheilte Scheibe g von etwa 5 Zoll Durchmesser concentrisch mit der Schraube fest. h, h′ sind zwei verschiebbare Lager, wovon das eine h bei Fig. III. besonders gezeichnet ist (von vorne gesehen). Dieses läßt sich durch einen Keil i, dem eine Feder k entgegenwirkt, erhöhen. In diese Lager wird die zu untersuchende Libelle gelegt.

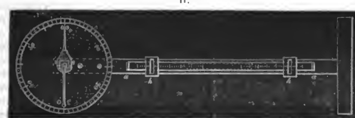
*) Das orthoskopische Ocular von Kellner. Anhang: Zur Kenntniß und genauen Prüfung der Libellen oder Niveaus von M. Hensoldt. Braunschweig 1849. S. 58.

Nimmt man nun zur Schraube ein sehr feines Gewinde, das etwa 130 Gänge auf 1 Par. Zoll hat, so kann man die Länge des Stabes leicht so berechnen, daß

I.



II.



III.

eine Umdrehung der Schraube denselben genau um einen Winkel von 1 Minute erhöht oder neigt. Sie ist nämlich $= \frac{a}{\sin . 1'}$, wo a = einer Gangweite in Theilen des Zolls ausgedrückt ist. Das Resultat giebt die Länge der Stange in Zollen. Da $\sin . 1'$ constant ist, wenn ein Umgang = einer Minute sein soll, so braucht man nur die Gangweite in einen Decimalbruch zu verwandeln und durch die Zahl 0,00029088 ... zu dividiren, um sogleich die Länge des Stabes zu erhalten. Sei z. B. eine Gangweite $= \frac{1}{130}$ Zoll, so ist $\frac{1}{130} = 0{,}007692 \ldots$, also $\frac{0{,}007692}{0{,}00029088} = 26{,}445$ Zoll die Länge der Stange von der Spitze der Schraube bis zu der die Fußspitzen verbindenden geraden Linie.

Je gröber das Gewinde der Schraube ist, desto länger muß natürlich der Stab werden. Hat man daher keine so feine Schraube, so kann auch eine mit 80 bis 90 Gängen auf einen Zoll angewendet werden, wobei man dann das Instrument so einrichtet, daß eine Umdrehung = 2 Minuten ist. Das Instrument wird dann gegen 20 Zoll lang. Im ersteren Falle wird die Scheibe in 60, im letzteren in 120 Theile getheilt, wovon ein Theil = 1 Sec. ist.

Bei der Untersuchung selbst wird auf folgende Weise verfahren: Die Lager h, h' werden je nach der Länge der zu untersuchenden Libelle so gestellt, daß letztere gegen eine etwaige Biegung durch ihr eigenes Gewicht geschützt wird, so nämlich, daß jedes Ende des Rohres um etwa $^1/_4$ der Länge über das Lager hinaus ragt.

Nachdem die Libelle in die Lager gelegt ist, desgleichen so oft man dieselbe mit der Hand angefaßt hat, muß gewartet werden, bis die Libelle durchgehends eine gleiche Temperatur angenommen hat, wozu bei feineren Libellen wenigstens $1/4$ Stunde nöthig ist Dann verfügt man sich in eine zur Beobachtung bequeme Stellung, behält diese während der ganzen Zeit bei, und bringt die Blase näherungsweise auf den Keil i, genauer aber durch Drehen der Schraube, an die äußersten Theilstriche des einen Endes. Hierauf läßt man die Blase nach und nach die ganze Röhre durchlaufen, indem man immer die Schraube um eine bestimmte gleiche Größe dreht und den jedesmaligen Stand der Blase abliest, wobei immer ein und dasselbe Ende derselben oder auch beide Enden zugleich beobachtet und die Ablesungen notirt werden *).

Es könnte scheinen, als ob eine so sorgfältige Herstellung der Libellen nur da nöthig sei, wo man mittelst derselben die Abweichungen von der Horizontalität bestimmen wollte, nicht aber wo sie blos dazu dienen sollen, die Horizontallinie zu bestimmen; ja es könnte scheinen, als ob im letzteren Falle es gar nicht auf eine genaue regelmäßige Krümmung, sondern nur auf Empfindlichkeit ankäme. Bedenkt man indessen, daß die Länge der Blase sich mit der Temperatur ändert, daß bei einem unrichtigen Bogen, wie bereits oben hervorgehoben ist, die Blase sich nicht nach beiden Seiten zu gleichviel ausdehnt; so leuchtet ein, zu welchen Fehlern solche Libellen führen können. Nicht ausgeschliffene und genau calibrirte Libellen sind also gar nichts nütze. Zu bemerken ist hierbei noch, daß das Rohr einer Libelle nach dem Schleifen innen nicht polirt werden darf, weil es sonst unsicher spielt.

Da gute Libellen selten angetroffen werden, so sind bei ihrer Anwendung, wenn es auf große Genauigkeit ankommt, besondere Vorschriften zu beachten. Man thut am besten, daß man z. B. bei der Prüfung der Horizontalität der Axe eines Passageninstrumentes die Libelle selbst als ungenau voraussetzt. Jedenfalls muß man die Libelle nicht blos in einer Richtung beobachten, sondern stets auch in der entgegengesetzten Aufstellung. Daß bei Prüfung der Horizontalität einer Fläche es nicht ausreicht, die Libelle in einer einzigen Stellung einstehen zu sehen, versteht sich von selbst; es muß dies wenigstens in zwei auf einander senkrechten Richtungen der Fall sein.

Huyghens **) soll zwischen 1666 und 1681 an einem Fernrohre eine Libelle angebracht haben; sicher ist, daß Hooke ***) die Luftblase in einer Röhre zum Nivelliren angewendet hat. Der Erfinder der Dosenlibelle ist gänzlich unbekannt ****). Die ersten genauen Libellen haben wohl Reichenbach und Fraunhofer in München geliefert; übertroffen hat sie dann, wie es scheint,

*) Weitere Vorsichtsmaßregeln und Beispiele s. a. a. O. Wegen eines von Nixon angegebenen anderen Verfahrens, mittelst eines Theodolithen den Werth der Scale und die Krümmung einer Libelle zu bestimmen, s. Philos. Mag. March 1829. p. 175. Baumg. Wiener Zeitschr. VI. S. 252. Fechner's Repert. I. S. 5.

**) Opp. var. Lugd. Bat. 1724. praef.

***) Animadvers. on the first Part of the Machina coelestis of Joh. Hevelius. Lond. 1674. p. 61.

****) Vergl. über die Erfindung und Verbesserungen der Nivellirinstrumente Thom. Stevenson in: Edinb. New Phil. Journ. N. LXXIII. p. 101.

Repsold in Hamburg, denn Struve vertauschte die Münchner Libellen mit Repsold'schen an den Münchner Fernröhren auf der russischen Hauptsternwarte zu Pulkowa.

Hensoldt a. a. O. S. 64 giebt folgende Preise für Aetherlibellen an.

Die Libelle giebt auf 1 Theil Ausschlag einen Winkel von	Länge des Glasrohrs	Durchmesser des Glasrohrs	Preis	
Secunden	Par. Zoll	Par. Linien	Thlr.	Sgr.
30 bis 60	4 bis $4^1/_2$	6 bis 7	2	15
15 „ 20	4 „ $4^1/_2$	6 „ 7	3	—
13 „ 15	4 „ 5	6 „ 7	3	15
10 „ 12	4 „ 5	6 „ 7	4	—
8 bis unter 10	5	6 „ 7	4	15
6 „ „ 8	5	7	5	—
5	5 „ $5^1/_2$	7	6	—
4	$5^1/_2$ „ 6	7	7	—
3	$6^1/_2$ „ 7	7 „ 8	9	—
2	7 „ 8	7 „ 8	12	—
1	8 „ 9	7 „ 8	20	—

H. E.

Licht. Wo eine Einwirkung auf unsere Sinne stattfindet, da ist Materie vorhanden, selbst wenn die Einwirkung derselben nur durch einen unserer Sinne wahrgenommen werden kann. Wenn wir nun mittelst unseres Auges von einem entfernten Körper einen Eindruck erhalten, so muß etwas Substantielles als Vermittler zwischen dem Auge und dem entfernten Körper vorhanden sein. Sollte dies Substantielle auch sonst für unsere anderen Sinne unwahrnehmbar sein, wir werden es doch — selbst als etwas Unbekanntes — als thatsächlich vorhanden anzunehmen haben, eben weil wir durch die zwar unbekannte, aber durch die Wirkung zur Thatsache gewordene, Ursache dazu gezwungen werden. Das Substantielle, welches wir zwischen dem Auge und dem entfernten Körper als Vermittler annehmen müssen nennen wir Licht. Wie wir uns aber diese Vermittlung eigentlich werden denken müssen, das verschieben wir bis an das Ende dieses Artikels, wo die aufgestellten Ansichten die nöthige Berücksichtigung finden sollen; zunächst wollen wir uns des Wortes Licht bedienen, als des zu Grunde liegenden Substantiellen im Allgemeinen, welches in irgend einer Weise gewisse Wirkungen hervorbringt.

A. Wirkungen des Lichtes.

Die wichtigste, eigentlich das Licht charakterisirende Wirkung ist die Wirkung auf das Auge, das Sehen. Um sie genügend zu erklären, müßte man erst wissen, was in Wahrheit das Licht sei; denn ohne dies kann jede Erklärung des Sehens nur dürftig sein. Da überdies hierbei die Construction des Auges in Betracht zu ziehen ist, so verweisen wir auf den Artikel Sehen und bemerken

hier nur, daß die Ursache des Sehens zunächst eine eigenthümliche Affection des Nerven ist, welcher sich im Auge zur Netzhaut ausbreitet. Ohne das Licht würde das Auge nutzlos sein, und ist es auch überall, wo das Licht fehlt, d. h. in der Finsterniß. Ferner sei hier noch bemerkt, daß das Licht durch das Auge uns in Verbindung setzt mit Gegenständen in einer Entfernung, bei welcher alle übrigen Sinne sich als nicht ausreichend ergeben. Während der nächst dem Auge am weitesten reichende Sinn, das Ohr, nicht einmal für Entfernungen, welche auf der Erde vorkommen, ausreicht, durchdringt das Auge wahrhaft unermeßliche Räume. Das Licht kommt aus Entfernungen zu uns, die wir allenfalls in Zahlen auszudrücken vermögen, von denen wir uns jedoch auf keine Weise eine klare Vorstellung verschaffen können.

Eine andere Wirkung des Lichtes ist der Schatten. Wir verweisen wegen des Näheren auf den besonderen Art. Schatten und begnügen uns hier mit der Bemerkung, daß Abwesenheit aller Lichtstrahlen in einem Raume als Finsterniß bezeichnet wird, hingegen die Abwesenheit der Lichtstrahlen eines bestimmten leuchtenden Körpers als Schatten. Wo Schatten bemerkt wird, da muß die vom Lichte getroffene Umgebung gleichzeitig beobachtet werden.

Wegen einer ferneren Wirkung des Lichtes, nämlich wegen der Farbe verweisen wir ebenfalls auf den besonderen Art. Farbe (Bd. III. S. 40). Wo kein Licht ist, nehmen wir auch keine Farben wahr; sie verschwinden eben so wie der Schatten mit dem Lichte. Da indessen in dem eben angezogenen Artikel das Licht nur als die Ursache der Farben behandelt werden konnte, so betrachten wir hier noch die Wirkung des Lichtes auf die Färbung der Pflanzen und Thiere näher, und überhaupt den Einfluß des Lichtes auf die Organismen *).

Es scheint als allgemein gültiger Satz angenommen werden zu müssen, daß ohne das Licht es keine organische Wesen geben könne. Da wo die größte Fülle des Lichtes auf der Erde ist, sehen wir die blühendste Kraft und Gesundheit bei Pflanzen und Thieren, mächtigen Wuchs, die prächtigsten Farben. So sind Pflanzen und Thiere in den Gegenden zwischen den Wendekreisen am mannichfaltigsten, kräftigsten, größten, buntesten und nehmen an Farbenfrische, Stärke und Kraft gegen die Pole hin immer mehr ab **). Ein ähnlicher Unterschied herrscht zwischen Pflanzen und Thieren, welche im freien Lichte erwachsen, und denen, welche den größten Theil ihres Lebens in engen, lichtarmen Gemächern, Kellern, Kerkern u. s. f. zubringen.

Die von der heißen Zone nach den Polen zu abnehmende Anzahl der wildwachsenden Pflanzengattungen hat neben der Verschiedenheit der Wärme in den verschiedenen Klimaten ihren Grund sicher auch in der nach den Polen zu geringer werdenden Einwirkung des Lichtes. Die Pflanzen der nördlichsten Gegenden kommen auch in südlicheren Breiten vor, dort jedoch als unansehnliche Zwergarten, hier als stattliche Individuen. Die schönsten Bäume, die herrlichsten Blumen, die üppigsten Sträucher und Gräser kommen nur in den Tropengegenden

---

*) Die den Einfluß des Lichtes auf das Keimen, Wachsen und die Farben der Pflanzen betreffende Literatur findet sich in: Fortschritte der Physik im Jahre 1845. Dargestellt von der physikalischen Gesellschaft zu Berlin. Berlin 1847. 1. Jahrg. S. 247—251.

**) Vergl. Art. Klima. Bd. IV. S. 280.

vor. Verpflanzen wir sie in unsere lichtärmeren Gegenden, so erkennen wir doch an den Verkrüppelungen, welche sie in unseren Gewächshäusern erfahren, obschon wir ihnen künstlich dieselbe Wärme und einen gleichen Boden, wie in ihrer Heimath, zu geben suchen, daß es eben das Licht ist, unter dessen Einfluß sie ihre natürliche Schönheit und Kraft erhalten. Schon daran erkennen wir den Einfluß des Lichtes auf die Pflanzen, daß die Stubenpflanzen ihre Zweige und Blätter stets dem Fenster zuwenden; noch mehr wird dies durch die Erfahrung bestätigt, daß Pflanzen in Kellern oder überhaupt in dunklen Orten aufbewahrt, ein schwächliches, verblichenes Ansehen erhalten und endlich ganz verkommen. In einem Keller, in welchem man Wurzelwerk den Winter über aufbewahrt hatte und an dem sich nur oben an der einen Seite eine kleine Oeffnung befand, durch welche das Licht hineinscheinen konnte, war beim Ausräumen im Frühlinge in einem entfernten Winkel eine Kartoffel liegen geblieben, welche nun einen Ausläufer trieb, der erst zwanzig Fuß weit auf dem Boden hin und an der Wand in die Höhe fortrankte, bis er endlich das Lichtloch erreichte. Auch der schlanke Wuchs der Bäume in dicht bestandenen Waldungen erklärt sich hieraus und das Absterben der unteren Zweige desgleichen, z. B. bei Buchenwäldern. Nach Gladstone*) findet im Allgemeinen das stärkste Wachsthum nächst im weißen im blauen Lichte statt; die im blauen Lichte erwachsenen Pflanzen waren aber schwächlich, während die im gelben Lichte erwachsenen derb und gesund blieben. Die Versuche waren an Hyacinthen, Weizen, Malven, an viola tricolor und Poa annua angestellt. — Auch auf den Wohlgeruch und den Geschmack der Pflanzen scheint das Licht eben so wohl, wie die Wärme großen Einfluß auszuüben, da in unseren Gewächshäusern bei erhöhter Temperatur zum Wachsen gebrachte Pflanzen weder den Geschmack, noch den Duft der in südlicheren Gegenden freiwachsenden Pflanzen haben. — Von Natur grüne Pflanzen erhalten ihre grüne Färbung erst durch das Licht und zwar um so gesättigter, je freier das Sonnenlicht auf dieselben wirkt. Im Dunklen wachsende Pflanzen werden bleich. Blätter und Blumenblätter färben sich erst dann stärker, wenn sie aus der Knospe hervorgebrochen sind. Das Innere der Kohlköpfe ist bleich und zart, weil das Licht nicht auf die inneren Blätter wirken konnte. Pflanzen, welche ihrer Natur nach nur im Schatten wachsen, sind meist durch den Mangel der grünen Farbe charakterisirt, z. B. Monotropa, Lathraea squamaria, Epipactis Nidus avis, Corallorhiza innata, Limodorum abortivum etc., wiewohl es auch nicht an Ausnahmen fehlt, so daß wir schließen müssen, jede Pflanze bedürfe zu ihrem Gedeihen eine gewisse Intensität des Lichtes. — Der periodische Wechsel in der Richtung der Blätter, eben so das sogenannte Wachen und Schlafen der Pflanzen zeigt eine Abhängigkeit von dem Lichte. Dies hat namentlich de Candolle**) durch einen Versuch recht schlagend bewiesen, indem es ihm durch ein starkes, dem Tageslichte an Helligkeit fast gleichkommendes Lampenlicht gelang, bei einigen Pflanzen die Zeit des Wachens und Schlafens umzukehren.

Auffallend ist auch der Einfluß des Lichtes auf die Thierwelt. Im Allgemeinen sind die Thiere des Nordens bleich, einfarbig, falb oder weiß, und dieselben Arten (z. B. Füchse, Bären, Hirsche, Hasen, Kaninchen ꝛc.) sind im

*) Athenaeum. 1852. p. 981.
**) Physiologie végétale. T. III. p. 1070.

Norden weiß oder fahl, während sie in südlicher gelegenen Gegenden in bunten Farben erscheinen. Im hohen Norden erhalten ferner z. B. Hermelin, Schneefuchs und Hase gegen den Winter, unabhängig von der Kälte und nicht durch Mauser, sondern durch Ergrauen solches Haar wie im Alter *). Daß hiervon der Mangel des Lichtes die Ursache sei, sieht man unter Anderen daraus, daß auch die des Lichtes beraubten Eingeweidewürmer, die Bandwürmer, Spulwürmer, Madenwürmer ꝛc. ganz weiß sind, aber bald ihre Farbe verändern, wenn sie dem Lichte ausgesetzt werden. In dunklen Orten gefangen gehaltene Mäuse erzeugen oft weiße Junge **). Fische, welche in großer Tiefe oder im Schlamme leben, Amphibien, welche sich im Dunklen aufhalten, z. B. Proteus, zeigen nur schwache Färbung. Die Stellen des Thierkörpers, welche dem Lichte mehr ausgesetzt sind, namentlich der Rucken, zeigen sich gewöhnlich dunkler. Bei den Schollen ist die untere Seitenfläche farblos im Gegensatze zu der oberen. Auch bei den Vögeln beobachtet man diesen Gegensatz, sogar die von anderen bedeckten Federn zeigen sich weniger gefärbt. Insecten und Vögel zeigen die lebhaftesten Farben, sind aber auch als Luftthiere dem Lichte am meisten ausgesetzt. Auch auf den Menschen äußert das Licht seinen Einfluß. Bei dem Menschen entwickelt sich, wie bei den Thieren, die bleibende Hautfarbe erst nach der Enthüllung des Embryo. Nach Sömmering ***) ist beim Neger die äußere Schicht des Malpighischen Schleims dunkler als die innere. Die Kopfhaare des Menschen pflegen dunkler zu sein, als die Rumpfhaare. Daß die Sommersprossen sich namentlich an den Hautstellen finden, welche dem Lichte ausgesetzt sind, gehört auch hierher; eben so daß in heißen Ländern nicht nur die Haut, sondern auch das Haar des Menschen dunkler zu sein pflegt, als in kälteren. Nach Voigt ****) sind bei den Abessiniern und Mauern die stets im Innern lebenden Frauen so weiß, wie Europäerinnen, während die Männer eine dunkelbraune Farbe haben. Berghaus *****) berichtet von den Polynesiern, daß die Kinder im Augenblicke ihrer Geburt eben so weiß sind, wie bei uns; daß die Theile des Körpers, welche von den leichten Stoffen des Landes bedeckt sind, viel weißer bleiben, als die übrigen; daß die Frauen, welche sich mit Mattenflechten beschäftigen und dabei im Schatten arbeiten, einen ziemlich hellen Teint haben, während sich die Fischer unter allen durch ihre dunkle Hautfarbe auszeichnen. Doch man vergleiche nur in dieser Beziehung Stadtbewohner, namentlich Gelehrte und Handwerker, welche den größten Theil ihres Lebens in Zimmern zubringen, mit Landbewohnern. Der des Sonnenlichts beraubte Mensch ist blaß, schießt schmächtig auf und hat überhaupt ein krankes Ansehen †).

Die färbende Einwirkung des Lichtes auf organische Körper ist eine chemische, aber durch die Lebensthätigkeit bedingt; denn bei todten Thieren und Pflanzen findet gerade das Gegentheil statt, nämlich ein Ausbleichen der Farben

*) v. Froriep's Notizen. Bd. XV. S. 167.

**) Heusinger, Untersuchungen über die normale Kohlen- und Pigmentbildung im menschlichen Körper. 1823. S. 36.

***) Ueber die körperliche Verschiedenheit des Negers vom Europäer. Frankfurt 1785. S. 46.

****) Die Farben der organischen Körper. Jena 1816. S. 13.

*****) Die Völker des Erdballs. Brüssel und Leipzig 1845. Bd. I. S. 426.

†) Vergl. Burdach, Physiologie. Bd. V. S. 353 ff.

im Lichte. Es führt uns dies überhaupt zur Betrachtung der chemischen Wirkung des Lichtes; doch wollen wir vorher noch kurz eine ebenfalls unter dem Einflusse der Lebensthätigkeit stehende andere chemische Wirkung des Lichtes berühren, nämlich den Einfluß des Lichtes auf gasige Secretionen.

Bei den Pflanzen finden wir einen von den Tageszeiten und zwar von dem Vorhandensein oder Nichtvorhandensein des Lichtes abhängigen Wechsel in der Ausscheidung von Gasen: im Sonnenlichte scheiden sie Sauerstoff aus und schlucken Kohlensäure ein, im Dunklen umgekehrt. Je lebhafter das Licht einwirkt, also im directen Sonnenscheine, desto stärker ist die Ausscheidung von Sauerstoffgas; außerdem zeigt sich aber noch nach der verschiedenen Natur der Pflanzen ein Unterschied in der Quantität. Nach de Saussure schlucken die blattwechselnden Bäume und Sträucher mehr Kohlensäure ein als die immergrünen und die krautartigen Landpflanzen, diese wieder mehr als die Sumpf- und Wasserpflanzen, am wenigsten aber die Fettpflanzen. Jüngere Blätter schlucken mehr ein, als ältere. Von gestörtem Ausscheidungsprocesse rührt jedenfalls das oben angeführte Bleichwerden der im Dunklen gezogenen Pflanzen her, indem dann wegen nicht eintretender Ausscheidung des Sauerstoffs die Kohlensäure des Nahrungssaftes nicht zersetzt und der Kohlenstoff nicht abgeschieden wird. Grüne Zellenpflanzen verhalten sich wie die grünen Blätter der Gefäßpflanzen; von den nicht grünen geben die Flechten im Sonnenlichte nicht Sauerstoffgas, sondern Kohlensäure und Stickstoff von sich und die Pilze hauchen sowohl im Sonnenscheine, als im Dunklen Wasserstoffgas und Stickstoffgas aus. Die phanerogamischen nicht grünen Schmarotzerpflanzen (z. B. Monotropa, Lathraea, Orobanche ꝛc.) scheiden im Sonnenlichte ebenfalls keinen Sauerstoff aus, wie denn überhaupt bei ihnen die Ausscheidung von Gasen sehr gering ist. Die nicht grünen Theile der Gefäßpflanzen, welche mit grünen Blättern oder Stengeln versehen sind, also die Wurzeln, das Holz, die nicht grüne Rinde, die Blumenblätter, die reifen Früchte, scheiden ohne Unterschied bei Tag und Nacht Kohlensäure aus, zum Theil — namentlich bei Blumen — gemengt mit Stickstoffgas und schlucken Sauerstoffgas ein, woraus sich die Gefahr zu ersticken für Menschen erklärt, welche sich in verschlossenen Räumen befinden, die dergleichen Pflanzentheile, namentlich Blumen und reife Früchte, in größerer Menge enthalten. Die rothe Spielart der Melde (Atriplex hortensis, Gartenmelde) macht eine Ausnahme, indem die Blätter derselben im Sonnenlichte auch Sauerstoffgas ausscheiden; von der rothen Rübe (Beta vulgaris) und den rothblätterigen Amaranthen gilt wahrscheinlich dasselbe. — Nach C. H. Schultz *) hat der Sauerstoff seinen Ursprung in der Pflanzennahrung, indem die grünen Pflanzentheile die Fähigkeit besitzen sollen, die meisten vegetabilischen und mineralischen Säuren zu zersetzen, und diese Substanzen sollen es gerade sein, aus welchen im Lichte der Sauerstoff entwickelt werde, während die Kohlensäure hiermit nichts zu thun habe. Indessen erwecken die Versuche wenig Vertrauen, während dies die Versuche Grieschow's **) eher verdienen, aus welchen entschieden hervorgeht, daß Pflanzenblätter nur dann im Lichte Sauerstoff entwickeln, wenn sich in der Umgebung freie Kohlensäure befindet. Auch Griese-

*) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 128.
**) Erdmann's und Marchand's Journ. Bd. XXXIV. S. 163.

bach's *) Versuche stehen mit dem Resultate von Schultz in entschiedenem Widerspruche.

Auch auf die Thiere hat das Licht einen ähnlichen Einfluß, wenn auch nicht auf den Athmungsproceß — das Ausscheiden des Sauerstoffs bei den Pflanzen ist überdies eher ein Verdauungs- als Athmungsproceß, — so doch auf die Secretionen überhaupt. Es sei hier nur ein dem Bleichwerden der Pflanzen am meisten analoger Fall erwähnt, nämlich, daß bei den Thieren im Dunklen Fett erzeugt wird. Bei der Mästung der Hausthiere wird von Landleuten hierauf auch mit Recht Rücksicht genommen. Nach v. Humboldt **) ist der Guacharo, ein körnerfressender Nachtvogel Amerikas, ungemein fett, weil er in unterirdischen Höhlen im Finstern lebt. Die europäischen Nachtvögel sind nur wegen des spärlichen Ertrages ihrer Jagd mager. Wegen des Ausführlichen verweisen wir auf Burdach ***) und auf Mulder ****).

Wir wenden uns nun zu den interessanten chemischen Veränderungen, welche das Licht, namentlich das Sonnenlicht, an sich — nicht wie in dem Vorhergehenden durch die Lebensthätigkeit bedingt — hervorzubringen im Stande ist *****).

Die chemischen Veränderungen durch das Licht sind entweder Verbindungen oder Zersetzungen. Bringt man gleiche Theile Chlorgas und Wasserstoffgas in ein farbloses Glas und verschließt dasselbe, so bleibt das Gemenge bei gewöhnlicher Temperatur im Dunklen unverändert; setzt man aber das Glas dem Tageslichte aus, so verbinden sich beide Stoffe langsam zu Salzsäure und im directen Sonnenlichte tritt die Verbindung schnell ein unter Verpuffung. — Setzt man hingegen frisch bereitetes Chlorsilber, indem man z. B. Papier mit der Auflösung tränkt, dem Sonnenlichte aus, so wird dasselbe geschwärzt, indem es anfangs bläulichgrau wird und dann durch Braun, Bräunlichblau, Roth in Röthlichbraun übergeht; im Dunklen aufbewahrt zeigt das Chlorsilber diese Veränderung nicht. Da nach Fischer hierbei ein Antheil Silber seines Chlors beraubt wird, der nun mit dem übrigen Chlorsilber eine Verbindung mit Ueberschuß von Silber eingeht, so haben wir im vorliegenden Falle eine durch das Licht veranlaßte chemische Zersetzung, während vorher eine chemische Verbindung bewirkt wurde.

Die vorher angeführte Verbindung von Chlorgas und Wasserstoffgas erfolgt auch im blauen Glase, aber in rothem geht dieselbe gar nicht, oder nur langsam vor sich. Bei stark scheinender Sonne erfolgt die Verpuffung, wie es G. Bischoff †) beobachtete, im Freien schon im Schatten; auch wirkt jedes dem Sonnenlichte an Lebhaftigkeit nahe kommendes Licht in gleicher Weise. Polarisirtes Licht wirkt wie nicht polarisirtes. Stellt man den Versuch mit Chlorgas und Wasserstoffgas in den einzelnen Farben des durch ein Prisma erhaltenen

*) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 630.

**) Reise in die Aequatorialgegenden rc. Stuttgart 1815 — 1819. Bd. II. S. 110.

***) Physiologie. Bd. V. S. 355 ff.

****) Versuch einer allgemeinen physiologischen Chemie. Deutsche Ausg. Braunschweig 1844 — 1851. Bd. II. S. 839 — 856.

*****) Die Literatur über die Wirkung der chemischen Lichtstrahlen bis 1845 findet sich am vollständigsten in: die Fortschritte der Physik im J. 1845. 1. Jahrg. S. 228 — 274.

†) Kastner's Archiv. Bd. I. S. 443.

Spectrums an, so tritt die Verpuffung um so leichter ein, je näher die Strahlen dem violetten Ende liegen, ja selbst noch jenseits des sichtbaren violetten Randes wird die Verbindung zu Stande gebracht, so daß da noch unsichtbare, aber wirksame Strahlen vorhanden sein müssen. Je näher dem rothen Ende des Spectrums die Strahlen gewählt werden, desto schwächer wird die Wirkung.

Eben dies zeigt sich bei der Einwirkung auf Chlorsilber. — Man löst salpetersaures Silberoxyd auf, tränkt damit Papier, trocknet dasselbe und taucht es dann in eine Kochsalzlösung. Hierbei überzieht sich das Papier mit weißem Chlorsilber, und deshalb hebt man dasselbe im Dunklen auf, bis man den Versuch anstellen will. — Die violetten Strahlen wirken sehr stark schwärzend, der äußerste Rand des violetten Endes am stärksten. Vom Violett gegen Roth hin nimmt die schwärzende Wirkung immermehr ab. Nach Seebeck *) wird mit Chlorsilber getränktes Papier im violetten Strahle und darüber hinaus röthlich braun, im blauen blau oder blaugrau, im gelben sehr schwach gelb, im rothen röthlich und unter dem rothen schwach röthlich, und zwar fällt bei Flintglasprismen, bei welchen die größte erwärmende Kraft sich außerhalb des rothen Strahles zeigt, auch die Röthung ganz außerhalb desselben. Concentrirt man das Spectrum von Grün bis Roth durch eine Linse, so erhält man einen blendenden Brennpunkt, der nach Berard **) das Chlorsilber selbst nach zwei Stunden nicht schwärzt. In dem Roth, welches man durch das Zusammenfallen von Violett und Roth zweier verschiedenen Prismen erhält, färbt sich das Chlorsilber nach Seebeck schön karmoisinroth, und am Tageslichte grau gewordenes wird im rothen Strahle nach längerer Zeit blasser und röthlicher. Auf dieselbe Weise verhält sich das durch verschieden gefärbte Gläser fallende Licht. Unter violetten, blauen und blaugrünen Gläsern wird das Chlorsilber nach Seebeck geschwärzt, und zwar zeigt die Schwärzung unter violetten Gläsern eine mehr röthliche, unter blauen eine mehr bläuliche Beimischung; unter gelbgrünen und gelben Gläsern bleibt es fast unverändert; unter gelbrothen wird es nach längerer Zeit schwach röthlich, und das durch farbloses Licht geschwärzte Chlorsilber färbt sich unter gelbrothem Glase bald heller und schmutziggelb oder röthlich.

In neuerer Zeit ist diese Einwirkung des Lichtes auf Chlor-, Jod- rc. Silber besonders studirt und wichtig geworden durch die Daguerreotypie, und deshalb verweisen wir wegen des Näheren auf den Art. Photographie.

Chlorgas und Kohlenoxydgas vereinigen sich auf ähnliche Weise, wie Chlorgas und Wasserstoffgas, unter Einwirkung des Lichtes und liefern Phosgengas. — Sättigt man Wasser mit Chlor und setzt es sodann dem Lichte aus, so verbindet sich das Chlor allmälig mit dem Wasserstoffe des Wassers zu Salzsäure und es wird Sauerstoffgas frei. Draper hat die hier zur Geltung kommenden Verhältnisse besonders eifrig studirt ***) und ist zu folgenden Resultaten gelangt: 1) Eine Auflösung von Chlor in Wasser wird im Dunklen nicht zersetzt; 2) sie erleidet im Lichte eine Zersetzung; 3) die Schnelligkeit der Zersetzung hängt von der Quantität der Lichtstrahlen und von der Temperatur ab; 4) die einmal im

*) Schweigger's Journ. Bd. XL. S. 146.
**) Gilbert's Ann. Bd. XLVI. S. 376.
***) Erdmann's und Marchand's Journ. Bd. XXXVII. S. 103. nach Phil. magaz. T. XXVII. p. 327.

Lichte eingeleitete Zersetzung geht im Dunklen weiter fort, wenn auch mit abnehmender Stärke; 5) diese im Dunklen fortgesetzte Gasentwickelung ist nicht ein Rückstand des Sauerstoffes, der erzeugt wurde, während die Lösung dem Lichte ausgesetzt war, sondern rührt von der fortdauernden Einwirkung des Chlors her und entspringt aus den Eigenschaften, welche dieses im Lichte erlangt hat; 6) die Ursache der Gasentwickelung ist nicht in einer Wirkung von der Art der Gährung zu suchen, so daß etwa dem Chlor von Partikel zu Partikel die Wirksamkeit mitgetheilt würde, sondern nur das ursprünglich vom Lichte getroffene Chlor besitzt sie; 7) die Quantität des so im Dunklen entstehenden Gases hängt von der Intensität des Lichtes und von der Zeit ab, während welcher das Chlor dem Lichte ausgesetzt wurde; 8) wenn im Dunklen aus dem Chlorwasser die Quantität Sauerstoff entwickelt ist, welche der Dauer der Aussetzung desselben an das Licht entspricht, so kann durch eine wiederholte Lichteinwirkung dem Chlor die zersetzende Eigenschaft wieder ertheilt werden, so lange sich noch Chlor in der Flüssigkeit befindet; 9) die Zersetzung wird nicht durch die Erhöhung der Temperatur der Flüssigkeit in der Sonne hervorgebracht, die Wärme beschleunigt zwar, aber leitet die Wirkung nicht ein; 10) wenn Chlorwasser dem Lichte ausgesetzt war, so kann man den Sauerstoff in ihm leicht durch Erhöhung der Temperatur austreiben; 11) die Zersetzung im Lichte beginnt nicht augenblicklich, sondern es ist eine gewisse Zeit erforderlich, damit das Chlor die specifische Veränderung erleide, durch welche es zersetzend wirken kann. Draper unterscheidet deshalb einen activen und einen passiven Zustand des Chlors. — Ist Chlor mit Kohlenwasserstoffgas und Wasser in Berührung, so findet nur im Lichte Zersetzung statt, und zwar bildet sich, indem der Wasserstoff des Wassers und des Kohlenwasserstoffs mit dem Chlor, und der Kohlenstoff des Kohlenwasserstoffes mit dem Sauerstoffe des Wassers eine Verbindung eingeht, Salzsäure und Kohlensäure. — Wenn man eine Auflösung von Stärkemehl in kochendem Wasser mit Jod blau gefärbt hat und sie sodann dem Sonnenlichte aussetzt, so verliert sie ihre Farbe, indem das Licht das Jod veranlaßt durch Aufnahme von Wasserstoff aus dem Stärkemehle in Hydriodsäure sich zu verwandeln. — Die meisten vegetabilischen Farben werden durch das Licht gebleicht und zerstört, wie wir an unseren gefärbten Zeugen täglich wahrnehmen; die organischen Farbenpigmente nehmen nämlich unter dem Einflusse des Lichtes, da sie vorzugsweise aus Wasserstoff und Kohlenstoff bestehen, aus der Atmosphäre Sauerstoff auf, oxydiren sich also und verändern hierbei ihre Farbe oder büßen sie ganz ein. Wenn man z. B. aus Kirsch- und Fliederblättern mittelst Spiritus eine grüne Tinctur bereitet, so verliert diese schon innerhalb 20 Minuten im Sonnenlichte ihre Farbe, während sie dieselbe im Dunklen lange behält. Auf ähnliche Weise, nur langsamer, werden alle mit Safflor, Blauholz, Brasilienholz, Curcuma oder Wau gefärbte Zeuge im Sonnenlichte entfärbt, wobei sie zugleich morsch werden. — Im Gegensatze hierzu werden mehrere Pflanzensubstanzen anstatt entfärbt, vielmehr anders gefärbt, z. B. Pulver von Guajakharz oder mit der Auflösung desselben im Weingeist befeuchtetes Papier wird durch farbloses oder durch blaues Licht grün gefärbt, nicht aber durch rothes, welches vielmehr die grüne Farbe wieder in gelb verwandelt. Eben so wird die ursprünglich gelblich rothe Aloetinctur hinter violetten und blauen Gläsern dem Lichte ausgesetzt nach kurzer Zeit dunkel blutroth, während rothe Strahlen keine Veränderung hervorbringen. — Verschiedene Salze, deren Basen ihren Sauerstoff ver-

hältnißmäßig leicht abtreten, werden öfters, wenn sie durch organische Substanzen, z. B. durch Aether, gelöst sind, unter dem Einflusse des Sonnenlichtes desoxydirt, was sich bisweilen durch Farbenänderungen kund giebt. So wird die weingeistige Lösung des rothen schwefelblausauren Eisenoxyds entfärbt. Hierher gehören auch die Lösungen des salzsauren Goldes und Platins in Aether. Das gelbe salzsaure Uranoxyd im Aether gelöst wird durch Licht dunkelgrün und zu salzsaurem Uranoxydul desoxydirt. Eine Auflösung von oxalsaurem Eisenoxyd läßt im Sonnenlichte unter Entbindung von Kohlensäure oxalsaures Eisenoxydul fallen; oxalsaures Silberoxyd zerfällt unter Wasser im Sonnenlichte partiell in metallisches Silber unter Entbindung von Kohlensäure. Iridiumsalmiak erleidet ebenfalls unter Mitwirkung von Oxalsäure Veränderungen im Lichte. — Salze, welche Krystallwasser enthalten, verlieren dasselbe in der Sonne schneller hinter blauem, als hinter rothem Glase *). — Reine concentrirte Salpetersäure zersetzt sich im Lichte in Sauerstoffgas und salpetrige Säure und färbt sich gelb oder roth. Hinter gelbrothem Glase tritt dies nicht ein, wohl aber hinter weißem und blauem. — Ueber die Wirkung des Lichtes auf Phosphor ist der Art. Phosphor nachzusehen.

Die chemischen Wirkungen des Lichtes treten nach Gay-Lussac und Thénard **) auch im Dunklen ein bei einer Temperatur von 160 bis 200° C. Man könnte hierdurch veranlaßt werden, die chemische Wirkung des Lichtes in einer durch dasselbe veranlaßten Temperaturerhöhung zu suchen; doch kann dies nicht sein, da die erforderliche Temperatur zu hoch ist und dann jedenfalls die rothen Strahlen, welche das größte Wärmevermögen haben, auch chemisch am wirksamsten sein müßten, was doch entschieden nicht der Fall ist. In neuerer Zeit hat Draper ***) die Absorption der Lichtstrahlen als die Ursache der chemischen Wirkung nachzuweisen versucht und dafür folgende Gesetze aufgestellt:

1) Wenn ein Strahl auf eine empfindliche Oberfläche fällt, oder durch ein Medium hindurch geht, welches durch den Strahl verändert wird, so wird entsprechend dem chemischen Effecte die Natur des Strahles zerstört. Eine Veränderung in der Zusammensetzung des Mediums ist mit einer Veränderung des Strahles verknüpft, der Strahl verliert seine chemischen Eigenschaften in dem Maße, als er das Medium verändert hat.
2) Strahlen, welche durch Absorption verschwinden, werden dazu aufgewendet, die Natur der ponderablen Materie zu ändern.
3) Strahlen, welche ihre chemische Wirksamkeit für ein gewisses Medium verloren haben, gehen hindurch oder werden reflectirt.

Um die Intensität und Quantität der chemischen Lichtstrahlen zu bestimmen, hat man verschiedene Methoden und Apparate angegeben. Das Nähere hierüber enthält der Art. Photographie; hier sei nur noch bemerkt, daß die hierzu bestimmten Apparate theilweise Aktinometer genannt werden, und daß bereits in dem besonderen Artikel Aktinometer Bd. I. S. 132 das elektrochemische Aktinometer von E. Becquerel beschrieben ist.

*) Vogel in Gilbert's Ann. Bd. XLVIII. S. 375.
**) Schweigger's Journ. Bd. V. S. 219.
***) Zuerst 1841 in Phil. magaz. T. XIX. p. 195; dann T. XXVII. p. 327 u. p. 435.

Draper *) hat ein Instrument unter dem Namen Tithonometer angegeben, weil er die chemischen Strahlen tithonische zu nennen beliebt.

Mehrfach ist auch eine magnetische Wirkung des Lichtes behauptet worden; namentlich sollte das violette Licht eine magnetisirende Eigenschaft besitzen. Morichini **) trat 1812 zuerst mit dahin zielenden Experimenten auf; eine Dame, Mrs. Sommerville ***) wollte 1826 dasselbe Resultat erhalten haben; auch Christie ****) und Baumgartner *****) hielten die Thatsache für erwiesen, nicht minder Zantedeschi †) und Barlocci ††); allein P. Rieß und L. Moser †††) haben durch sorgfältige Versuche den Beweis geführt, daß namentlich Morichini's und Baumgartner's Magnetisirungsart gänzlich unwirksam ist und die Arbeit von Zantedeschi an großen Mängeln leidet. Eben so ergab das polarisirte Licht, welches sie der Untersuchung unterwarfen, keine Wirkung ††††). Vergl. auch d. Art. Magnetismus.

B. Quellen des Lichtes.

Die mächtigste Lichtquelle ist die Sonne. Da wir mit dem Verbrennungsprocesse eine starke Lichtentwickelung so häufig verbunden sehen, so liegt es nahe, auch bei der Sonne an einen Verbrennungsproceß zu denken. Hier hat man zwar den Einwand gemacht, daß dann eine Abnahme, ja eine Zerstörung der Sonne die Folge sein müßte, aber doch keine Abnahme des Sonnendurchmessers beobachtet sei; indessen um das letztere zu behaupten, reichen unsere Beobachtungen nicht weit genug zurück, da erst seit der Mitte des siebzehnten Jahrhunderts, nämlich nach der Erfindung der Fernröhre oder eigentlich seit der Anbringung der Mikrometer an diesen Instrumenten, genauere Messungen haben angestellt werden können. Ungeachtet der Verbesserungen, welche die Instrumente erfahren haben, herrscht heute doch noch über den Sonnendurchmesser eine Ungewißheit im Betrage einer Secunde, d. h. von etwa 100 geographischen Meilen; es läßt sich also über die Abnahme des Sonnendurchmessers bis jetzt noch nichts Zuverlässiges feststellen, und somit wäre in dieser Hinsicht ein Verbrennungsproceß auf der Sonne als Ursache der Lichtentwickelung gerade nicht unmöglich. — Andererseits hat man die Vermuthung ausgesprochen, daß der Sonnenkörper nicht brenne, sondern glühe; indessen seit der Entdeckung der Polarisation des Lichtes ist diese Ansicht ganz unhaltbar geworden, da das Licht beim Glühen fester Körper sich immer als zum Theil polarisirt zeigt, was beim Sonnenlichte nicht der Fall ist. Deshalb ist man auf den Gedanken gekommen, das Sonnenlicht möge Licht glühender Gasarten sein, da dieselben ebenfalls keine Polarisation bemerken lassen, und dies liegt

*) Phil. magaz. T. XXIII. p. 401; Instit. No. 508. p. 320; No. 510. p. 342; Silliman's americ. Journ. T. XLVII. p. 217.

**) Gilbert's Ann. Bd. XLIII. S. 212; Kastner's Arch. Bd. VIII. S. 105.

***) Ann. de chim. T. XXXIII. p. 393; Poggend. Ann. Bd. VI. S. 493.

****) Baumgartner's und Ettinghausen's Zeitschr. Bd. III. S. 100.

*****) Baumgartner's und Ettinghausen's Zeitschr. Bd. I. S. 263.

†) Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 187; Bibl. univ. T. XLI. p. 64.

††) Schweiggers Journ. Bd. LVIII. S. 73.

†††) Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 563.

††††) Die betreffende Literatur in: Fortschritte der Physik. 1. Jahrg. S. 241.

auch der Hypothese Herschel's des älteren zu Grunde, nach welcher — mit Rücksicht auf die Sonnenflecken — die Sonne ein an sich dunkler Körper ist, welcher von einer dreifachen Kugelschale umgeben wird. Die äußerste Hülle ist nach ihm eine Photosphäre (ein Lichtmeer), unter dieser liegt eine äußerst elastische und undurchsichtige zweite Hülle und unter dieser eine den Sonnenkern unmittelbar umschließende dritte wolkenartige, dunkle. — Da hier nicht die Stelle ist, dies Gebiet der Hypothesen noch weiter zu verfolgen, so verweisen wir wegen des Ausführlicheren auf den Art. Sonne, und fügen hier nur noch einige Notizen bei über die Intensität des Sonnenlichtes.

Nach Bouguer ist das Licht der Sonne gleich dem von 11664 Wachslichtern in 16 Par. Zoll Entfernung; nach Wollaston *) gleich dem von 5563 Kerzen in der Entfernung von einem engl. Fuße. Beide Resultate weichen nicht sehr von einander ab, denn das erstere giebt, reducirt auf die Entfernung von ebenfalls einem engl. Fuße, 5774 Wachslichter.

Eine fernere Lichtquelle ist für uns der Mond. Ueber die Lichtphasen des Mondes, über das eigene und reflectirte Licht desselben s. Art. Mond. Die Intensität des Lichtes des Vollmondes ist nach Bouguer 250000 bis 300000 Mal schwächer als die des Sonnenlichtes; nach John Micheli 450000 Mal; Euler berechnet noch achtmal weniger; Wollaston, dessen Resultat wohl das zuverlässigste ist, findet, daß das Licht des Vollmondes gleich ist dem $^1/_{144}$ Theile des Lichtes einer Kerze, welche sich in der Entfernung von einem Fuße befindet, und daß daher das Mondlicht 144 . 5563 = 801072 Mal schwächer ist, als das Sonnenlicht. Leslie's Angabe = 150000 weicht hiervon sehr ab.

Das Licht der Planeten und Fixsterne trägt wenig zur Erleuchtung der Erde bei. Ueber die Intensität des Fixsternlichtes vergl. Art. Fixsterne Bd. III. S. 218 — 220.

Sehr häufig tritt Licht bei chemischen Processen auf; wir verweisen hierüber auf die Artikel: Feuer (Bd. III. S. 141), Flamme (Bd. III. S. 236) und Verbrennung.

Ueber die Lichterscheinungen, welche beim Krystallisiren vorkommen, ist im Art. Elektricität (Bd. II. S. 755) die Rede gewesen, da diese Erscheinungen höchst wahrscheinlich elektrischen Ursprungs sind.

Wegen der Elektricität als Lichtquelle sind die Artikel: Elektricität (Bd. II. S. 718, 739, 749), Funke, elektrischer (Bd. III. S. 291) und Galvanismus (Bd. III. S. 319) nachzusehen.

Von besonderer Art ist das von mechanischen Einwirkungen erzeugte Licht, welches sowohl bei heftigem und plötzlichem Aneinanderbringen verschiedener Körper derselben oder verschiedener Art, als auch bei schneller Trennung der Körpertheilchen eines und desselben Körpers, also beim Schlagen, Stoßen, Reiben, Streichen, Zerbrechen, Zerstoßen, Zersprengen &c. auftritt.

Durch Reiben gleichartiger Stücke desselben Fossils (mit Ausnahme der weichen Kalkerden) wird nach Placidus Heinrich **) stets eine Lichterscheinung

---

*) Phil. Transact. 1829. T. I. p. 19. Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 328.

**) Die Phosphorescenz der Körper, oder die im Dunklen bemerkbaren Lichtphänomene der anorganischen Natur. Fünf Abtheilungen. Nüenberg 1811. 1812. 1815. 1820.

im Dunkeln hervorgerufen. Besonders das Kieselgeschlecht zeichnet sich durch Lichtentwickelung bei der Reibung gleichnamiger Fossilien an einander aus; wahrscheinlich giebt es nicht ein echt kieselartiges Fossil, welches nicht die angegebene Eigenschaft besitzt und zwar in vielen Fällen schon bei schwachem Drucke. Auch das Thongeschlecht hat die angegebene Eigenschaft im hohen Grade, namentlich Feldspath. Fossilien dieses Geschlechtes, welche im natürlichen Zustande nicht leuchten, erhalten diese Eigenschaft durch das Brennen, Erhärten im Glühofen, z. B. die reine Thon- oder Porzellanerde; im Kalkgeschlecht zeichnen sich Pharmacolith und Flußspath aus. Die Leuchtfähigkeit der Marmorarten scheint nicht sowohl von ihrer Härte, als vielmehr von ihrem mehr oder weniger krystallinischen Gefüge abzuhängen. Kein Fossil des Talkgeschlechtes wird leuchtend und eben so wird kein reguliuisches Metall, mit demselben Metall gerieben, leuchten, außer wenn die durch Reiben erzeugte Wärme bis zur Glühhitze steigt. Bei den meisten Fossilien erfolgt das Leuchten schon, wenn die durch die Reibung erzeugte Wärme noch kaum fühlbar ist. Daß dieses Leuchten übrigens nicht unmittelbar die Folge eines elektrischen Zustandes ist, sieht man daraus, daß gerade diejenigen Körper, welche durch Reiben am stärksten elektrisch werden (Stangenschwefel, Harze, Bernstein, Steinkohlen) durch Reiben mit ihres Gleichen nicht leuchtend werden. Wenn zwei Glasröhren an einander gerieben werden, so ist die Lichterscheinung sehr bedeutend, aber am Elektrometer ist nur eine geringe Elektricität bemerkbar. Setzt man bei länger fortgesetztem Reiben zugleich eine dieser Röhren mit einer kleinen Leidner Flasche in Verbindung, so erhält man zwar zuletzt einen schwachen Funken durch Entladung; jedoch steht dieser mit der durch Reiben erzeugten Lichtmenge in gar keinem Verhältniß. Sehr gut leuchtet Melis- und Kandiszucker, polnisches Steinsalz nur schwach; die gewöhnlichen Salzsteine aus Salzburg, gemeiner und cyprischer Vitriol, Salpeter, Salmiak, Alaun und dergleichen leuchteten nur dann, wenn sie vorläufig auf dem Ofen getrocknet und etwas erwärmt gerieben wurden. Sind die Substanzen ganz gleichartig, so ist das Licht desto stärker, je spröder sie sind, je rauher ihre Oberflächen sind, je stärker der Druck ist und je geschwinder das Hin- und Herfahren bei der Reibung geschieht. Hiervon kann man sich am besten durch Versuche am Quarz und Bergkrystall überzeugen. Bei den Fossilien, welche am stärksten leuchten, tritt dieses Leuchten, wie es scheint, bei jeder Temperatur auf, bei den weniger leuchtenden Körpern dagegen, wie bei Flußspath und Marmor, bemerkt man eine Abhängigkeit der durch Reiben erzeugten Lichtstärke von der anfänglichen Temperatur dieser Fossilien. Das umgebende Mittel, in welchem die Versuche vorgenommen werden, scheint ohne Einfluß auf das Resultat derselben zu sein. Hawksbee machte viele dieser Versuche in möglichst verdünnter Luft, Wedgewood und Davy auch in unathembaren Gasarten, Heinrich unter Wasser und Oel. Ueberall erfolgte Licht. Das durch mäßiges Reiben gleichartiger Substanzen erregte Licht beschränkt sich auf die Zeit der Friction und auf die Berührungsflächen, oder es ist momentan und local. Reine Kiesel- und Quarzstücke werden durch lebhaftes Reiben ganz durchsichtig und verbreiten so viel Licht, daß man die Gegenstände in der Nähe deutlich unterscheiden kann. Schlägt

---

Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 544. Schweigger's Journ. Bd. IV. S. 215; Bd. XXIX. S. 101 u. 450. Journ. de ph. T. LXXIV. p. 158, 307. — Hier zunächst die 4. Abtheilung.

man sie gegen einander, damit kleine Bruchstücke abspringen, so bildet sich ein Lichtstreifen von mehreren Zollen, gleich einem elektrischen Lichtbüschel. Ueber die Farbe des bei diesen Versuchen erscheinenden Lichtes ist es unmöglich, etwas Bestimmtes anzugeben, indem sie nicht nur von der Natur und Farbe der geriebenen Substanz, sondern auch von der Stärke des Druckes beim Reiben, der Einrichtung des Auges und vielen anderen Nebenumständen abhängt. Nur Folgendes wird man größtentheils bestätigt finden: eine schwache Reibung giebt nur einen matt weißen Schimmer, dieser wächst mit dem Druck und kann beim Bergkrystalle bis zum blendenden, ins Goldgelbe spielenden Glanze übergehen. Bei weißem Glase wird er feuerroth. Das Frictionslicht wird durch das Prisma zerlegt. Diese Farbenzerlegung nimmt sich beim Bergkrystall, Rosenquarz und anderen hellleuchtenden Fossilien sehr gut aus; bei schwach leuchtenden Steinen hingegen ist sie kaum bemerkbar.

Werden Metalle und Körper, welche nicht zerbrechen, einem plötzlichen Drucke ausgesetzt, so wird kein Licht, wohl aber ein geringer Grad von Wärme erregt. Dagegen leuchten pulverförmige Körper, wenn man sie z. B. auf einem Ambos mit dem Hammer schlägt oder in einer Röhre fest eingedrückt durch einen plötzlichen Stoß trifft. Heinrich machte hierbei die Bemerkung, daß auf diese Weise durch den Stoß diejenigen Körper am meisten leuchteten, welche durch Erwärmung am besten phosphorescirend wurden (s. d. Folg.), so wie auch das Leuchten am längsten bei denjenigen Körpern anhielt, die auch dann am längsten leuchteten, wenn sie durch Erwärmung leuchtend gemacht worden waren.

Auch über das Auftreten von Lichterscheinungen beim Bruch, wobei keine merkliche Reibung stattfand, hat Heinrich Versuche angestellt; Holz und Stricke, so wie Metalldrähte und Knochen gaben weder beim Zerreißen noch beim Zerbrechen Licht, wogegen solches auftrat beim Zerbrechen und Zerschlagen harter und spröder Fossilien, namentlich krystallinischer *).

Marmor und Kalkstein leuchteten nicht; Flußspath leuchtete nur dann, wenn er hart und von spathartigem Gefüge war; Schwerspath leuchtete nicht; Feldspath leuchtete, und russisches Frauenglas zeigte beim Zerspalten der Blätter zuweilen Funken von mehr als $^1/_{10}$ Zoll Länge, die von einem Blatte zum anderen übersprangen. Bergkrystall giebt schönes Licht, vorzüglich beim Zerschlagen mit einem hölzernen Hammer auf der Hand; Glasröhren leuchteten nicht beim Zerbrechen, wohl aber beim Zerschlagen; die Bologneser Fläschchen leuchteten nur zuweilen beim Zerspringen. Schwefel und Siegellack geben beim Zerbrechen kein Licht. Unter den Salzen zeichnete sich das schwefelsaure Kali durch gutes Leuchten aus. Recht harter weißer Zucker und Kandiszucker leuchten beim Brechen.

Eine Reihe von Versuchen hat Heinrich endlich über die Lichterscheinungen bei der Reibung fremdartiger Körper an einander aufgestellt.

Ein Sandstein, der als Schleifstein zum Drehen eingerichtet war, ward so schnell gedreht, daß jeder Punkt des Umfangs 6 bis 7 Fuß Geschwindigkeit in

---

*) Auffallend ist eine von Bauernfeind (Kastner's Arch. Bd. XVII. S. 370) gemachte Beobachtung, daß einige Massen Schöpfen- und Rindertalg, als sie, um zerlassen zu werden, in tiefer Abenddämmerung aus ihren Holzbehältern herausgebrochen und zerschlagen wurden, dabei wenigstens eben so stark leuchteten wie fester Hutzucker beim Zerschlagen.

der Secunde hatte, und nun die anderen Körper daran gehalten. Hier wurden selbst sehr leicht zerreibliche Kalksteine, Alabaster, Meerschaum, Knochen, Zähne, Elfenbein mehr oder minder gut leuchtend, obgleich sie beim Reiben an einem gleichartigen Körper kein Licht gezeigt hatten. Als ausgezeichnet schön leuchtend führt Heinrich folgende an: Rosenquarz, Bergkrystall, Onyx, Chalcedon; mit rothem Lichte vorzüglich schön: Carniol, böhmische Granaten, weißes Glas; hellleuchtend wie eine Flamme die Zähne des Nilpferdes; Perlmutter leuchtete unter allen Conchylien am schönsten. Metalle und ganz vorzüglich Eisen, gaben hier, ohne bis zum Glühen erhitzt zu sein, Licht, aber Steinkohlen leuchteten nicht, Holz nicht, Bernstein sehr schwach. In den meisten Fällen zeigte sich dicht an der Oberfläche des Schleifsteins eine leuchtende Wolke und um den Umfang ein leuchtender Bogen, der nicht so hell als jene war; beide entstehen aus den abgeriebenen Theilchen. Daß hier so viele Körper leuchtend wurden, die bei schwächerem Reiben kein Licht geben, schreibt Heinrich der hier immer eintretenden Erwärmung zu, die allerdings nicht ohne Einfluß bleiben kann. Die Farbe des Lichtes war hier meistens feuerroth, statt daß sie beim schwachen Reiben oft nur weißlich ist. Wie groß hier die Erhitzung werden kann, zeigen vorzüglich Versuche an großen Schleifmühlen, wo ein 4 Linien dicker Nagel in $1/4$ Minute weißglühend wurde, Glas zum Glühen und Schmelzen an der Berührungsstelle kam rc.

Andere Versuche Heinrich's und Dessaignes*) bezogen sich auf Feilen, auf Streichen mit einer Radirnadel, mit einem zugespitzten Federkiel, einer Bürste, beim Ritzen mit Diamant oder Bergkrystall rc. Dessaignes fand, daß manche Diamanten, aber sonst kein Stein durch Streichen mit einer Bürste oder Reiben mit Wolle leuchtend wurden. Derselbe hat noch mehrere interessante Bemerkungen über Diamanten gemacht: daß die Diamanten, welche dem Licht ausgesetzt nicht leuchtend werden, auch durch Reiben nicht leuchtend wurden, oder allenfalls nur einen kurzen Lichtblitz gaben; daß zwei Diamanten, die durch Bestrahlung (s. d. Folgende) beide nicht leuchtend wurden, nicht blos durch Aneinanderschlagen leuchteten, sondern nach dieser Zeit auch durch alle andere Erregungen und sogar durch Bestrahlung leuchtend wurden; daß ein anderer gut polirter Diamant mit einer Feile geschlagen erst am 3. Tage schwache Lichterscheinungen und späterhin immer stärkere Lichterscheinungen gab, und daß dieser von nun an bei Schlägen von Holz und anderen harten nicht polirten Körpern Licht gab, ja auch bei der Bestrahlung leuchtend wurde, welches vorher nicht der Fall gewesen war. Hier schien die durch das Schlagen bewirkte Abnutzung der Kanten die Ursache der Veränderung zu sein. Ueber die mannichfache Verschiedenheit des Lichtes hat Dessaignes Nachrichten gegeben. Wenn das Licht als Folge eines einfachen Stoßes hervorgeht, so ist es ein einzelner Blitz, der aus dem geschlagenen Punkte hervorbricht; beim starken Reiben ist es ein leuchtender Streifen, der sich weiter verbreitet, als die entstandene Furche ist. Immer wird nur die getroffene Oberfläche leuchtend und der Anschein, als ob einige durchsichtige Körper ganz leuchtend würden, ist nur Folge des lebhaften Glanzes. Das Licht scheint nicht wie beim Glühen, an dem leuchtenden Körper zu haften, sondern sich von

*) Journ. de Ph. T. LXVI. p. 67; T. LXVIII. p. 444; T. LXIX. p. 5; T. LXX. p. 109; T. LXXI. p. 353; T. LXXIII. p. 41; T. LXXIV. p. 101 u. 173.

dem leuchtenden Körper aus zu verbreiten. Die Farbe dieses Leuchtens ist ungleich, blau bei dem Hyalith, gelb bei dem Milchquarz, blutroth oder purpurroth bei dem Dolomit und Grammatit, etwas grünlich bei dem kohlensauren Strontian; alle diese Farben sind durch das Prisma zerlegbar. Bei einigen Körpern geht bei stärkerem Reiben das Licht aus dem Bläulichen in das Gelbliche über; Quarze, Chalcedone und Kieselsteine geben gelbes Licht, enthalten sie aber Eisen, so ist das Licht nach Verhältniß der Oxydation des Eisens roth. Von diesem blos momentanen Lichte unterscheidet Dessaignes ein bei einigen Körpern sichtbar werdendes Licht von längerer Dauer, das z. B. bei zwei an einander geschlagenen Stücken Adular einige Minuten lang dauerte und da entstand, wo ein Riß zwischen den Lamellen des Krystalls hervorgebracht wurde.

Was den Einfluß der äußeren Wärme auf die durch Reibung veranlaßten Lichterscheinungen betrifft, so hat Dessaignes gefunden, daß Glasröhren, welche bis 256° C. erhitzt und aneinander gerieben wurden, bei weitem schöner leuchteten und daß die Phosphorescenz zunehme, bis die mitgetheilte Hitze nahe daran ist, das Rothglühen hervor zu bringen. Bei einer Erwärmung über diesen Grad war keine durch das Reiben erzeugte Lichterscheinung zu bemerken. Wenn man Stücke eines Kalksteines gleich nachdem sie aufgehört haben rothglühend zu sein, auf die Erde fallen läßt, so leuchten sie wieder, und schlägt man einen Kalkstein gleich nach dem Aufhören des Rothglühens mit einem Schlüssel, oder schlägt auch nur die ihn haltende Zange, so wird er alsbald wieder leuchtend. Daß der Grund des in den beschriebenen Fällen bei der Reibung auftretenden Lichtes nicht die Wärme sei, wie dies überall der Fall ist, wo durch Reibung z. B. zweier Hölzer an einander oder des Stahls am Stein beim Feuerschlagen wirkliche Verbrennung herbei geführt wird, geht schon daraus hervor, daß eine nur sehr geringe, ja fast gar keine Temperaturerhöhung in den meisten Fällen statt findet, so daß bei den unverbrennlichen Substanzen, namentlich bei den Fossilien gewöhnlich schon eine mäßige Reibung mit der Hand und schwachem Drucke hinreicht, ein schwaches sichtbares Leuchten hervorzubringen. Ueberdies ist die Reihenfolge der durch Erwärmung leuchtend werdenden Körper nach der Stärke der Lichtentwickelung eine ganz andere, als die der durch Reibung leuchtend werdenden Körper. Das durch Reiben erzeugte Licht der Fossilien ist ferner, wie gesagt wurde, momentan und örtlich, während das durch Erwärmung erzeugte Leuchten anhaltend ist. Nach Pl. Heinrich leuchtet kein Fossil mit natürlich glatten oder künstlich polirten Oberflächen, selbst bei starker Reibung, so lange diese Oberflächen unverletzt bleiben; springt aber etwas davon ab, oder werden sie durch Reiben abgenutzt oder rauh, so bricht das Licht sogleich aus. Am leichtesten läßt sich dies mittelst Prismen von geschliffenem Bergkrystall oder Glas darthun. — Haben die geriebenen Körper ein Gefüge der Art, daß sich durch Abspringen immer neue Unebenheiten bilden, wie beim Rosenquarz und Flußspath, so dauert das Leuchten mit ungeschwächter Helle bis ans Ende des Reibens fort; wird hingegen die Oberfläche allmälig durch Reiben abgenutzt, so nimmt das Frictionslicht nach und nach wieder ab. — Hiernach erklärt sich auch, warum die Steine des Kieselgeschlechts alle anderen an Schönheit des Frictionslichtes übertreffen.

Es scheint also dieses Leuchten mit dem Abspringen hervorragender Flächentheile (namentlich krystallinischer Körper) zusammenzuhängen und scheint demnach dieselbe Ursache, wie das beim Krystallisiren auftretende Licht zu haben, nämlich eine

beim Zerbrechen oder Zersprengen krystallinischer Körperchen frei werdende Elektricität. Besonders bemerkt muß noch werden, daß dieses durch Reibung erzeugte Leuchten von einem ganz eigenthümlichen Geruche begleitet ist, den Heinrich von einem mit Zersetzungen begleiteten Abspringen von Theilchen herleitet. Sollte aber hier, wo nur von einer mechanischen, nicht aber von einer chemischen Einwirkung, namentlich bei der Reibung gleichartiger Körper an einander die Rede ist, die Ursache des Geruches nicht vielmehr in der Elektricität zu suchen sein? Offenbar hat der bekannte elektrische Geruch mit dem bei der Reibung auftretenden Aehnlichkeit.

Die Erfindung des pneumatischen Feuerzeugs (s. Art. Feuerzeug Bd. III. S. 183) schien zu beweisen, daß Gase, durch einen plötzlichen Stoß stark verdichtet, Lichterscheinungen geben. Neuere Versuche von Thénard *) haben jedoch dargethan, daß die Zusammendrückung an sich selbst nicht fähig ist, das Leuchten eines Gases zu bewirken und daß das Leuchten im pneumatischen Feuerzeuge eine Verbrennungserscheinung oder Erscheinung chemischer Zersetzung an dem Oel oder Fett sei, womit das Leder des Stempels getränkt ist. Saissy hat schon früher die Bemerkung gemacht, daß im pneumatischen Feuerzeuge zwar Luft, Sauerstoffgas, Chlorgas durch Druck leuchtend wurden, dagegen alle übrigen Gase, als Stickstoff, Wasserstoff, Kohlensäure selbst in der dicksten Finsterniß bei einem heftigen Stoße keine Lichterscheinung zeigten. Thénard fand diese Bemerkung und durch Versuche den oben angegebenen Satz, daß das Leuchten nur die Erscheinung einer chemischen Zersetzung des Oeles oder Fettes am Stempel sei, bestätigt. Als nämlich Thénard statt der gewöhnlichen Stempel aus mit Oel oder Fett getränktem Leder andere anwendete, bei denen keine Zersetzung stattfinden konnte, blieb die Lichterscheinung bei der Compression aus. Er ließ zu diesem Zwecke Stempel von Filz verfertigen, welche leicht vom Wasser benetzt werden, oder setzte auch auf den Lederstempel einen kleinen Metallcylinder, so daß alle unmittelbare Berührung zwischen dem Leder und dem Gase aufgehoben wurde. Andere male nahm er einen Stempel, der unten aus Leder, in der Mitte aus Filz und oben, aber nur in geringer Ausdehnung, aus Messing bestand. Er wandte dabei lange sorgfältig kalibrirte und oben durch einen wohl eingetriebenen Glasstöpfel verschlossene Röhren an, und bewerkstelligte die Compression wie bei den gewöhnlichen Feuerzeugen, an einem möglichst dunklen Orte mit freier Hand sehr stark und plötzlich. Hatte man unter diesen Umständen den Filz oder Metallcylinder mit Wasser benetzt und die Glasröhre mit Kali gereinigt, so fand niemals eine Lichtentwickelung statt; dagegen zeigte sich fast immer ein schwacher Schein, sobald der Filz nicht gut benetzt oder die Röhre schlecht gereinigt worden war. Es war natürlich, diese Resultate mit den anderen Erscheinungen der Zusammendrückung, z. B. der Entzündung von Feuerschwamm, Holz, Papier ꝛc. zu vergleichen. Es wurde daher oben auf dem Stempel, welcher sich in einen Cylinder von angefeuchtetem Filz oder von Messing endigte, ein Stück Papier angebracht. Dies fing im Sauerstoffgas augenblicklich Feuer und verbrannte mit sehr lebhaftem Glanze. Mit Oel getränkt brannte es noch leichter. Alle weißen, recht trockenen Holzsorten und selbst das sehr harte Buchsbaumholz entzündeten sich mit Lebhaftigkeit.

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XLIV. p. 181. Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 442.

Bei einem Versuche, wo der Cylinder mit einer Scheibe Buchsbaumholz bedeckt war, entzündete sich diese am Rande, obgleich kein anderer Körper da war, der die Entzündung hätte bedingen können. Einen sehr feinen Eisendraht zu verbrennen, wurde vergebens versucht. Er stellte auch ähnliche Versuche mit Chlor an, und beobachtete, daß Papier, wenn es nur sehr wenig mit Oel getränkt war, glühend wurde und daß sich Salzsäure dabei bildete. Nur gelingt es mit dem Papier nicht, eben so wenig mit dem Holze, wenn die Wirkung zu schwach oder zu langsam ist.

Ein anderes Resultat der Versuche von Thénard war, daß sich in verdichteter Luft brennbare Körper bei niederer Temperatur eher entzünden, als unter gewöhnlichem Drucke (der Atmosphäre). Er fand nämlich, daß es unter dem atmosphärischen Drucke unmöglich sei, Tannenholz bei 350° C. in Sauerstoffgas zu entzünden; es wurde nur dunkelbraun gefärbt, allein unter einem Drucke von ungefähr $3^1/_2$ Atmosphären fing das Holz bei höchstens 252° C. Feuer.

Der Versuch wurde mit einer kleinen gebogenen Glasglocke angestellt, in deren krummem Theile sich das Holz befand, und die über Quecksilber mit Sauerstoffgas gefüllt ward. Der gebogene Theil war in ein Quecksilberbad getaucht, das auf einem Ofen stand und die Glocke war mit einer sehr langen aufrecht gestellten Glasröhre mittelst einer sehr starken und gut ausgewählten Kautschukröhre verbunden, die an die Glocke und Röhre festgebunden war. Der Druck wurde durch Einschütten von Quecksilber in die senkrechte Röhre erhalten *), die Temperatur durch Erhitzen des Quecksilberbades.

Endlich hat Thénard gefunden, daß ein Gas, welches in einem Glasrohre stark zusammengedrückt wird, auf eine 205° C. weit übersteigende Temperatur gelangt, auch wenn es kohlensaures Gas, Wasserstoffgas oder Stickgas ist. Ein Gemenge von Knallquecksilber mit Sand, welches sich über Quecksilber (unter dem Drucke von etwa $3^1/_2$ Atmosphären) erhitzt bei 205° C., und bei gewöhnlichem Druck erst in viel höherer Temperatur, in kohlensaurem Gas, Wasserstoffgas oder Stickgas entzündete, detonirte auch, wenn es auf dem Stempel des Feuerzeuges, das mit dem irrespirablen Gase gefüllt war, angebracht wurde, bei Compression des Gases. Diese Temperaturerhöhung des comprimirten Gases ist es, welche als Hauptursache der Entzündung brennbarer Körper, welche sich unter dem Kolben des pneumatischen Feuerzeuges befinden, betrachtet werden muß.

Auch bei der plötzlichen Ausdehnung der Luft sind Lichterscheinungen beobachtet worden. Füllt man Glaskugeln mit Sauerstoffgas und zerbricht dieselben im luftleeren Raume, so gewahrt man nach Biot, indem sich das Sauerstoffgas ausbreitet, eine helle Lichterscheinung im Dunklen. Es ist ferner ein bekannter Versuch, den man an der Luftpumpe anzustellen pflegt, daß man die Luft in einem metallenen, oben mit einer übergebundenen Blase verschlossenen Cylinder verdünnt, bis die Spannung der äußeren Luft so sehr die der inneren überwiegt, daß die Blase eingedrückt wird. Auch hierbei erscheint nach Dessaignes ein Licht, und zwar ein um so lebhafteres, je vollständiger das Auspumpen war. Eine entsprechende Erscheinung ist das Licht, welches beim Zersprengen von Knallbomben entsteht, und welches sich von allen Seiten gegen die beim Fallen auf den

---

*) Je 28 Zoll der Quecksilbersäule drücken mit Einer Atmosphäre Kraft; vergl. die Art. Atmosphäre und Barometer.

Boden zerschlagene gläserne Knallbombe hinzustürzen scheint. — Wenn man im Dunklen eine Windbüchse abschießt, so sieht man aus der Mündung des Rohres häufig einen Lichtbüschel hervorkommen, der alsbald verschwindet, aber zuweilen eine Länge von mehr als $^1/_2$ Fuß hat. Nach Heinrich tritt diese Lichterscheinung nur bei starken Ladungen der Windbüchse auf, entstand aber sowohl wenn der Lauf der Büchse ganz von Stahl war, als wenn er mit Blei gefüttert war, sowohl wenn eine Kugel geladen war, als ohne dieselbe. Ließ man die Luft, ohne einen Lauf anzubringen, aus dem Behälter, in welchem sie zusammengepreßt war, entweichen, so erschien kein Licht und auch schon eine zu große Weite des Laufes verhinderte die Erscheinung. Besser als in einem metallenen Lauf trat die Lichterscheinung bei einem gläsernen auf. Auch durch vorherige Erwärmung der Windbüchse wurde die Lichterscheinung lebhafter. Hart konnte bei mehreren Versuchen keine Lichterscheinung gewahren, obschon er Versuche mit feuchter, trockner und warmer Luft anstellte. Erst nachdem er einen Pfropf anwendete, erhielt er die gewünschte Erscheinung. Der Versuch gelang nun allemal bei Anwendung von Seide, Tuch und Gummilack. Ein vorzüglich schönes grünliches Licht erschien zuweilen, wenn er Glas in den Lauf brachte. Aus ferneren Versuchen ging nun aber hervor, daß der Lichtblitz auch ohne Pfropf erhalten werden konnte, wenn zufällig oder absichtlich Sand, Quarz oder andere harte Körper, die beim Reiben Licht geben, in den Lauf gekommen waren; selbst wenn man Sand, Flußspath, Zucker auch nur vor das Rohr hielt, so zeigten sie sich bei dem sie treffenden Schusse leuchtend. Ganz reine Seide brachte keine Lichterscheinung hervor und so machte Hart den Schluß, daß die Reibung harter Körper am Rohre die Ursache dieses Lichtes sei.

Außer den erwähnten Körpern bewirken auch metallene Bürsten oder feine Drähte, wenn sie vor die Mündung des Laufes der Windbüchse gehalten werden, eine lebhafte Lichterscheinung, wie namentlich Schweigger durch Versuche dargethan hat.

Auch bei Zersetzung des Euchlorins durch Wärme, der Zersetzung des oxygenirten Wassers, des Chlorstickstoffes und Jodstickstoffes, bei welchen sämmtlich eine Gasart sich schnell in ein großes Volumen ausdehnt, bemerkt man Lichtentwickelung.

Heinrich und Dessaignes haben ferner über das Licht, welches durch Druck auf tropfbare Flüssigkeiten entsteht, Versuche angestellt. Sie bedienten sich hierbei einer Röhre von dickem Glase, die mit gekochtem Wasser und anderen sorgfältig von Luft befreiten flüssigen Körpern zum Theil gefüllt wurde. Indem nun ein dichtschließender Kork die Oberfläche des Wassers ohne Zwischenraum berührte und dieser durch einen plötzlichen heftigen Schlag mit einem schweren Hammer gegen das Wasser gedrückt, also auch dieses selbst comprimirt wurde, so zeigte sich im Dunklen ein ziemlich starkes, gelbliches Licht, das dem durch Verbrennung von Wasserstoffgas und Sauerstoffgas im Volta'schen Eudiometer glich. Dieses Licht zeigte sich immer nur in der unteren Hälfte des Cylinders oder in dem Theile des Wassers, welcher von dem gestoßenen Pfropfe am entferntesten war. Es zeigte sich nie, wenn auch nur die geringste Quantität Wasser, neben dem schließenden Pfropfen hervordringend, einen Ausweg fand, und in diesen Fällen war auch der durch den Schlag hervorgebrachte Schall merklich anders, indem er nur, wenn gar kein Wasser hervordrang, dem Klange eines geschlagenen harten

Körpers glich. Die Farbe des Lichtes war bei verschiedenen Flüssigkeiten ungleich und auch nach Verschiedenheit der Stärke des Stoßes ungleich.

Zu den interessantesten Lichterscheinungen gehört die **Phosphorescenz** (von dem griech. φῶς, Licht, und φέρω, ich trage), worunter man gewöhnlich überhaupt ein schwaches Leuchten eines Körpers im Dunklen versteht, ohne daß dabei ein eigentliches Brennen stattfände. Hiernach würde sich die Phosphorescenz von dem Glühen durch die geringe Intensität des Lichtes und von dem Verbrennen durch den Mangel chemischer Zersetzung unterscheiden; doch muß man gestehen, daß eine scharfe Grenzlinie in dieser Beziehung noch keineswegs feststeht, weshalb denn auch von vielen Naturforschern die vorhergehenden Lichtphänomene zum Theil zur Phosphorescenz gerechnet werden, und daß mithin der Begriff der Phosphorescenz noch an einer gewissen Unbestimmtheit leidet, welche erst durch fortgesetzte Untersuchung des Phänomens verschwinden wird.

Die bedeutendsten Untersuchungen über Phosphorescenz haben **Placidus Heinrich** (a. a. O.), **Dessaignes** (a. a. O.), **Wach** *), **Matteuci** **), **Becquerel** ***) und **John W. Draper** ****) angestellt *****).

Die alte Geschichte von dem Karfunkel deutet an, daß man schon in frühester Zeit Erscheinungen der Phosphorescenz beobachtet hat. Der Diamant scheint aber der erste Körper gewesen zu sein, an welchem die Thatsache festgestellt wurde; denn im dreizehnten Jahrhunderte sagt der Alchemist **Albertus Magnus**, er habe einen Diamanten gesehen, der in warmem Wasser zu glühen schien. Aufmerksam auf das Phänomen der Phosphorescenz wurde man indessen eigentlich erst, als im Jahre 1602 der Schuhmacher **Vincenzio Casceriolo** seinen berühmten Leuchtstein, den sogenannten **Bologneser** oder **Bononischen** Stein oder lapis solaris entdeckte †). Es ist dieser Stein ein eisenfreier Schwerspath, der zu gröblichem Pulver gestoßen, mittelst Eiweiß oder Tragantschleim zu dünnen Pasten geformt und bei freiem Feuer zwischen glühenden Kohlen — nicht in dem heftigen und anhaltenden Feuer eines Reverberirofens oder in einer Muffel, auch ohne Anwendung eines Gebläses — etwa zwei Stunden lang erhitzt wird. Der so behandelte Stein riecht sehr stark nach Schwefelleber und braust mit Säuren behandelt stark auf, was vorher nicht der Fall war. Seine phosphorescirende Eigenschaft nimmt durch die Länge der Zeit wieder merklich ab und kann zuletzt ganz verschwinden, wenn das Präparat nicht sorgfältig vor der Luft und dem Tageslichte verwahrt wird. In hermetisch verschlossenen Röhren aber, oder auch

---

*) **Schweigger's** Journ. Bd. LXVII. S. 283.

**) Bibl. univ. de Genève. No. 79. T. XL. Juli 1842. p. 139. Compt. rend. T. XV. p. 288.

***) Compt. rend. T. VIII. p. 223. **Pogg.** Ann. Bd. XLVIII. S. 540; Bd. XLIX. S. 543 u. Bd. LXXVII. S. 69. Bibl. univ. T. XIX. p. 422; T. XLI. p. 352.

****) Philos. Magaz. T. XXV. p. 103; T. XXVII. p. 435; 4. Ser. T. I. p. 81; vergl. **Krönig**, Journ. für Physik Bd. I. S. 471.

*****) Die vollständige Literatur über Phosphorescenzerregung durch Insolation bis zum Jahre 1845 ist zusammengestellt in: Die Fortschritte der Physik im J. 1845. Berlin 1847. Jahrg. I. S. 243—247.

†) **Hooke's** experiments by Derham. p. 178. **Priestley's** Geschichte der Optik. S. 265. — **Galilei** soll nach **La Galla** die Eigenschaft dieses Steines schon früher gekannt haben; vergl. De Phaenomenis in orbe Lunae. Venet. 1612. p. 58.

nur zwischen Baumwolle in einem hölzernen Schächtelchen aufbewahrt, behält er seine Wirksamkeit ins Unbestimmte.

Die erste Beobachtung, daß Körper durch Bestrahlung oder Insolation (v. dem lat. insolare — von in und sol — der Sonne aussetzen) d. h. wenn sie vorher dem Tageslichte oder noch besser dem directen Sonnenlichte ausgesetzt werden, phosphoresciren, machte man 1677 an dem Balduin'schen Phosphor. Der Sachse Baiduin wollte nämlich durch Auflösen von Kreide in Scheidewasser und Destillation in einer Retorte den Geist der Welt gewinnen und erhielt bei seinen Versuchen einen Körper, der im Dunklen leuchtete, wenn er vorher dem Sonnenlichte ausgesetzt war. Nach Heinrich wird gestoßene Steinkreide mit gutem Scheidewasser bis zur Sättigung gemischt, das Uebrige abgesaigert, die Mischung auf einem warmen Ofen getrocknet, zerstoßen und mit Eiweiß zu Pasten geformt; diese Pasten werden eine Stunde lang zwischen lebhaft glühenden Kohlen gebrannt, dann abgekühlt und dem Tageslichte ausgesetzt.

Die Entdeckung des Phosphors von Brandt 1674, dessen Bereitungsart aber erst 1737 bekannt wurde, lenkte die Naturforscher besonders auf die Phosphorescenz und seitdem ist auch erst dieser Begriff in Gebrauch gekommen. Schon vorher wurden aber von Boyle dahin zielende wissenschaftliche Untersuchungen angestellt, als man an einem im Besitze Clayton's befindlichen, später von Carl II. angekauften Diamante das Leuchten im Dunklen beobachtete. Boyle stellte fest, daß der Diamant durch Reibung mit verschiedenen Körpern leuchtend wird und zugleich eine Elektricitätsentwickelung zeigt, daß er aber auch leuchtet, wenn er durch ein Licht, durch Feuer, heißes Eisen und sogar durch Berührung mit dem Körper erwärmt ist, und daß dabei keine Elektricität entsteht. Auch fand er, daß der Diamant unter Wasser, unter verschiedenen sauren und alkalischen Flüssigkeiten, oder wenn er mit Speichel bestrichen wurde, phosphorescirend war, und daß das Leuchten in warmem Wasser zunahm. Es ging also schon aus Boyle's Untersuchungen hervor, daß Elektricität und Phosphorescenz in keinem nothwendigen Zusammenhange stehen.

Boyle hatte übrigens den Umstand übersehen, daß der Diamant zuerst dem Lichte ausgesetzt werden muß, wenn er phosphoresciren soll. Dies stellte Du Fay 1730 fest, eben so daß der Diamant im Dunklen nur eine Zeitlang leuchtet und allmälig verbleicht, daß aber durch Temperaturerhöhung das Phosphoresciren wieder hervorgerufen werde und eine Bestrahlung von der Dauer einer Secunde hinreiche, um den Proceß einzuleiten. Indem Du Fay ein Auge zuband oder verschlossen hielt, um die Beobachtung im Dunklen mit demselben zu machen, während er das andere bei seinen Arbeiten im Hellen brauchte, fand er unter 400 gelben Diamanten keinen, der nicht phosphorescirte, aber einige von weißer, rosenrother, blauer oder grüner Farbe leuchteten nicht. Er entdeckte ferner, daß unter verschiedenen gefärbten Medien das Leuchten eintrat, z. B. unter buntem Glase, unter Wasser, Milch, nicht aber unter Dinte. Boyle's Beobachtung über die Wirkung der Erwärmung fand er bestätigt; eben so wies er nach, daß die Phosphorescenz von der Elektricität durchaus unabhängig sei. Ueberdies spricht er sich dahin aus, daß bei richtiger Behandlung wohl alle Körper, die Metalle vielleicht ausgenommen, phosphorescirend werden können.

In der Folge hat man nun eine Menge phosphorescirende Körper dargestellt, von denen wir einige hier namhaft machen.

Canton's Phosphor (1768) wird so bereitet, daß man gereinigte und $\frac{1}{2}$ Stunde lang für sich geglühte Austerschalen in einem Tiegel mit Schwefelpulver schichtet, so daß ihre innere Fläche immer nach unten zu liegen kommt, und der Tiegel wenigstens 1 Stunde lang im Windofen glüht.

Um den Antimonphosphor darzustellen, bestreut man den unteren Theil eines Tiegels mit feingepulvertem Schwefelantimon, legt eine calcinirte Austerschale darauf, bestreut — mittelst eines feinen Siebes — den oberen Theil derselben ebenfalls — ungefähr $1\frac{1}{2}$ Linie hoch, — legt ein neues Stück Austerschale auf und füllt auf diese Weise den Tiegel damit an; lutirt jetzt einen Deckel darauf und setzt ihn 1 Stunde lang der Rothglühhitze aus. Bei Oeffnung des Tiegels findet man die oberen Schalen, einige gelbe Stellen abgerechnet, unverändert. Diese werden ausgewählt, die unteren aber — öfters ganz gelben und schwarz gefleckten — werden wegen Untauglichkeit verworfen. Setzt man diesen Phosphor dem Tageslichte aus und bringt ihn hierauf ins Dunkle, so leuchtet er mit weißgrünem Lichte und übertrifft sowohl an Stärke des Lichtes, als an Dauer des Leuchtens auffallend das Licht des Bononischen Steines.

Die Bereitung des Realgarphosphors geschieht wie bei dem Antimonphosphor durch Behandlung calcinirter Austerschalen mit feingepulvertem Realgar. Dieser Phosphor leuchtet mit blauem, der Flamme des brennenden Schwefels zu vergleichendem Lichte. So wie bei dem Antimonphosphor leuchten auch hier nur die weißen Stellen.

Der Arsenikphosphor wird erhalten, wenn einfach arsenikfaurer Baryt, den man durch Fällung des falzsauren Baryts mit Arsenikfäure darstellt, mittelst Tragantschleims zu Pasten gemacht und einem halbstündigen Glühen zwischen Kohlen ausgesetzt wird. Mit weniger Verlust verfährt man, wenn die Masse auf abgebrochene Stückchen thönerner Pfeifen gestrichen und auf eine irdene Unterlage gelegt der Glühhitze ausgesetzt wird. Dieser Phosphor leuchtet mit rothem Lichte, ähnlich dem Bononischen Phosphor.

Auch Verbindungen von Kalk mit Operment, mit Zinnober, mit Musivgold und mit Schwefelzink auf ähnliche Weise als der Antimonphosphor dargestellt, sind Phosphore, doch minder gute, als die eben beschriebenen. — Nach Heinrich erhält man auch einen schönen Phosphor, wenn man ein Gemenge aus 4 Theilen Alabaster mit 3 Theilen Sauerkleesalz in einem Schmelztiegel zwischen Kohlen zwei Stunden hindurch mäßig glüht.

Wach hat 1833 ausführliche und interessante Versuche über die Bereitungsart der Leuchtsteine angestellt. Derselbe löste künstlichen Schwefelarsenik in Ammoniak auf, bestrich weißgebrannte Austerschalen dünn mit dieser Lösung, bestreute sie nach dem Eintrocknen mit Schwefel und glühte sie im verschlossenen Tiegel. Hierdurch erhielt er Phosphore von einer solchen Leuchtkraft, daß deren schönes blaues Licht in einem von gemeinem Tageslichte erhellten Zimmer ohne weitere Vorbereitung des Auges ganz deutlich wahrgenommen werden konnte *). Wie

---

*) Wach bemerkt: Eine solche Stärke der Leuchtkraft habe er in allen Abhandlungen, welche über künstliche Phosphore geschrieben sind, nicht angeführt gefunden. Nur Pl. Heinrich führe als etwas Außerordentliches an, daß Was. Sewergin einen sibirischen Flußspath besessen habe, welcher durch Erwärmen bei hellem Tage mit bläulichem und smaragdgrünem Lichte phosphorescirte.

hier die Beimischung eines Minimums, von einem Schwefelmetalle, so zeigte sich auch die Beimischung eines Minimums von Bittererde zu dem Schwerspath- oder Cölestin-Pulver von besonderer Wirksamkeit für die Erhöhung der Leuchtkraft. Wach mischte drei bis vier Proc. reiner Bittererde zu dem fein präparirten und mit Salzsäure digerirten Schwerspath- oder Cölestin-Pulver, formte aus dieser Mischung mit dickem Tragantschleim etwa eine Linie dicke Pasten und glühte diese nach dem Trocknen, theils im bedeckten Tiegel, theils zwischen Kohlen. Auf diese Weise erhielt er Leuchtsteine von außerordentlicher Stärke. Blieb der Bittererdezusatz weg, so leuchteten die Leuchtsteine bei weitem schwächer, obschon sie sonst aus denselben Bestandtheilen und unter denselben Bedingungen bereitet waren. Die im Tiegel geglühten Pasten, welchen etwas Bittererde zugemischt war, leuchteten gleichförmig stark, die Schwerspathleuchtsteine feuerroth, die aus Cölestin bereiteten smaragdgrün; dagegen phosphorescirten die im offenen Feuer zwischen Kohlen geglühten an manchen Stellen bedeutend stark, während andere Stellen gleichsam todt gebrannt erschienen.

Anstatt eines Bittererdezusatzes, welcher besonders bei den aus Schwerspath oder Cölestin zu bereitenden Phosphoren sehr zu empfehlen ist, kann man sich nach Wach mit einem ebenfalls günstigen Erfolge des Zusatzes einiger schweren Metalloxyde, namentlich des Zinkoxydes, Zinnoxydes, Kadmiumoxydes und Antimonoxydes bei solchen Leuchtsteinen bedienen, die aus weiß gebrannten Austerschalen erhalten werden. Folgendes Mengenverhältniß von Austerschalen, Schwefel und Metalloxyd gab nach oft wiederholten Versuchen das günstigste Resultat: 100 Gewichtstheile Schwefelblumen werden innig vermengt mit 10 Gewichtstheilen der angeführten Metalloxyde; 1 Gewichtstheil weißgebrannter Austerschalen wird mit $^1/_3$ Gewichtstheil der eben angeführten Mischung gleichförmig bestreut und eine halbe Stunde im bedeckten Tiegel mäßig durchglüht.

Die Farbe der mit Zinnoxyd bereiteten Leuchtsteine war ein wenig gelblich weiß, die Leuchtkraft stark und lang anhaltend, das Licht weiß. — Die mit etwas Zinkoxyd bereiteten Phosphore hatten die weiße Farbe, die Leuchtkraft derselben war ausgezeichnet stark und lange anhaltend, das Licht seegrün und stellenweise bläulich weiß. — Die Farbe der Leuchtsteine, welchen etwas Kadmiumoxyd zugesetzt ist, ist gelblich, die Leuchtkraft stark, das Licht hochgelb. — Das beigemischte Antimonoxyd hatte den Phosphoren eine schwache Ocherfarbe ertheilt, das Licht war schön weiß und stark, aber nur von kurzer Dauer. — Nach Osann *) geben mit Realgar bereitete Phosphore ein blaues und violettes, mit Schwefelantimon bereitete ein grünes, mit Zinnober hergestellte ein hellgrünes und mit an der Luft zerfallenem Schwefelantimonphosphor erhaltene ein weißes Licht.

Die Aufbewahrung der Phosphore geschieht nach Osann in versiegelten oder mit Blase zugebundenen Gläsern, doch braucht man hiermit nicht sehr zu eilen, indem über drei Wochen in einer offenen Schale dem Lichte und der atmosphärischen Luft ausgesetzte Phosphore wenig oder nichts von ihrer Leuchtkraft verloren hatten. Erst wenn der Kalk zerfällt, mindert sich die Leuchtkraft. Um das phosphorische Leuchten zu beobachten, läßt man den Leuchtstein 8 bis 10 Se-

*) Kastner's Archiv. Bd. IV. S. 347; Bd. V. S. 88. Bibl. univ. T. XL. p. 118. Pogg. Ann. Bd. XXXIII. S. 405.

cunden von der Sonne oder dem hellen Tageslichte bescheinen und bringt ihn dann in vollkommenes Dunkel.

Außer den künstlichen Präparaten giebt es viele natürliche Substanzen, welche durch Bestrahlung im Dunklen leuchtend werden. Sie sind hinsichtlich ihrer Lichtstärke, Farbe und hinsichtlich der Dauer ihres Leuchtens sehr verschieden. Im Allgemeinen sind die kalkartigen Fossilien die besten Phosphore. Die kohlensauren Kalke geben ein glänzendes, helles weißes Licht, welches jedoch höchstens etwa $^1/_2$ Minute sichtbar ist; noch geringer ist der schwefelsaure Kalk und die phosphorsaure Kalkerde (z. B. Knochen). Der ausgezeichnetste Phosphor ist der Flußspath, welcher nach einer wenige Minuten währenden Bestrahlung viele Minuten im Dunklen leuchtet, obschon mit nicht sehr glänzendem Lichte. Die in der Natur vorkommenden Salze (roher Borax, natürliches Steinsalz aus Polen und gemeines Kochsalz, natürlicher Salmiak, natürliches Glaubersalz, natürlicher Alaun, natürliches Bittersalz ꝛc.) kommen ihm ziemlich gleich.

Die kalkartigen Fossilien stehen hinsichtlich ihrer Leuchtkraft nach Heinrich in folgender Ordnung. 1) Flußspath von allen Farben, vorzüglich grüner; 2) Kalksinter, Tropfsteine, Pfannensteine; 3) versteinerte Schneckenhäuser und Muscheln; 4) Belemniten und Glossopetrae; 5) Karlsbader Sinter, Sprudel- und Erbsenstein; 6) Eisenblüthe; 7) Marmorsteine von verschiedenen Ländern und Farben, vorzüglich die weißen; 8) Arragonit und Dolomit, gemeiner Kalkspath; 9) Bergmilch, Kreide, verhärteter Mergel; 10) ächter isländischer Doppelspath; 11) weiße Korallen, Fungiten, Seeigel; 12) fossile Knochen und Zähne der Säugethiere; 13) Eierschalen der Vögel, besonders die weißen; 14) orientalische Perlen; 15) Harn- und Gallensteine von Menschen und Thieren; 16) Alabaster sowohl in roher als polirter Gestalt; 17) Pharmakolith; 18) Marienglas.

Sehr interessante Beobachtungen hat Grotthuß *) über den Chlorophan (röthlich violetter Flußspath von Nertschinsk) gemacht. Ist dieser Wochen lang im Dunkeln aufbewahrt worden, und wird dann, ohne dem Lichte ausgesetzt gewesen zu sein, im Dunklen beobachtet, so leuchtet er gewiß nicht, auch wenn er durch die Wärme der Hand etwas erwärmt wird; stellt man ihn aber einige Minuten lang ins Sonnen- oder Kerzenlicht, so behält er mehrere Tage, ja Wochen lang das Vermögen, im Dunklen zu leuchten, und wenn er es allmälig verliert, so reicht geraume Zeit hindurch die Wärme der Hand hin, um es wieder hervorzubringen. Hat der Chlorophan zwei bis drei Monate lang in der Finsterniß gelegen, so fängt er erst bei 45° bis 50° R. an zu leuchten und zeigt sich bei dieser Wärme selbst im Wasser leuchtend. v. Grotthuß beschreibt einen Versuch, wo ein Canton'scher Phosphor neben einem Chlorophan 15 Min. in das Sonnenlicht gestellt wurde und dann jeder in einer Schachtel wohl verschlossen ins Dunkle gesetzt wurde. In der Nacht wurden beide hervorgenommen und leuchteten gleich stark; in der zweiten Nacht, während den Tag über wieder beide im Dunkeln wohl verwahrt gewesen, leuchtete der Chlorophan schon stärker, als der Canton'sche Phosphor, und in den folgenden Nächten ward der Unterschied immer deutlicher; in der

*) Schweigger's Journ. Bd. XIV. S. 133. Bibl. univ. T. I. p. 247.

fünften Nacht leuchtete der letztere nicht mehr und das Leuchten konnte nur bis zur siebenten Nacht noch durch die Wärme der Hand hervorgerufen werden, statt daß der Chlorophan bis in die zehnte Nacht ohne weitere Nachhülfe und bis zur 24. Nacht bei Erwärmung durch die Hand sich leuchtend zeigte; in der 36. Nacht konnte durch 40° R. Wärme noch ein matter Schimmer hervorgerufen werden. Wurde der Chlorophan bei — 25° Kälte der Sonne ausgesetzt und dann in ein dunkles Zimmer von + 6° bis + 8° Wärme gebracht, so leuchtete er vorzüglich schön mit grünem Lichte, das erst nach einigen Stunden in einen matten farbenlosen Schimmer überging. Wurden dagegen erwärmte Stücke (von 25° bis 30° R. warm) dem Sonnenstrahle ausgesetzt und dann in ein dunkles Zimmer von 0° bis 10° gebracht, so war das Leuchten schwächer und von kürzerer Dauer, so wie es auch bei dem Canton'schen und Bononischen Phosphor der Fall ist. Selbst durch das 2 Minuten hindurch ihn treffende Kerzenlicht blieb er 10 Stunden lang leuchtend.

Die zum Barytgeschlecht gehörigen Mineralien leuchten nach der Bestrahlung auf kurze Zeit, am besten auf dem frischen Bruche. Dagegen fand Heinrich gar nicht oder äußerst schwach und nur ein paar Stunden lang leuchtend, alle sogenannten Edelsteine und alle nur etwas reinen Kieselsteine, die Steine des Thonerden- und Talkerdengeschlechts. Es phosphorescirt ferner kein reguliniſches Metall durch Insolation; die Metallsalze (z. B. schwefelsaures Quecksilber) ziemlich gut, die künstlichen, durch Feuer bereiteten, Metalloxyde sehr schwach oder gar nicht, die natürlichen etwas besser. Ferner phosphorescirt kein brennbares Mineral (Steinkohle, Erdpech, Schwefel 2c.) mit Ausnahme des Bernsteins, welcher mittelmäßig phosphorescirt, und des Diamants, der in verschiedenen Exemplaren ein sehr verschiedenes Verhalten zeigt. Fast eben so viele Diamanten besitzen die phosphorescirenden Eigenschaften, als andere, die sie nicht besitzen; auch ist die Dauer der Phosphorescenz bei ersteren sehr verschieden, von 5 bis 6 Secunden bis zu einer vollen Stunde. — Reines Wasser, reines Glas, geschliffener Bergkrystall leuchten nicht oder kaum merklich; sehr reines und durchsichtiges Eis hingegen leuchtet. — Auch gehören zu den guten Phosphoren dieser Art Boraxsäure, Milchzucker, Benzoesäure.

Frische Bestandtheile der organischen Individuen sind gar nicht oder nur schlechte Phosphore durch Insolation. Indeß wollen doch Dessaignes und Placidus Heinrich einigemal Phosphorescenz durch Bestrahlung an ihren eigenen trockenen Fingern beobachtet haben. Werden thierische Substanzen, welche Fette oder Oele enthalten (z. B. Federn von Vögeln, geronnene Milch, Käse, Eigelb u. a.) stark ausgetrocknet, so phosphoresciren sie durch Bestrahlung. Ausgetrocknete Pflanzen phosphoresciren nur schlecht, frische gar nicht. Altes Zuckerrohr, gebleichtes Wachs, Hutzucker, arabisches Gummi leuchten gut. Die Pflanzenstoffe werden durch Bleichen in ihrer Leuchtkraft durch Insolation (das Bleichen ist selbst nur eine länger dauernde Insolation) gekräftigt, so z. B. sind gebleichte Leinwand, weißes Papier sehr gute Leuchter. Die Anzahl der Phosphore durch Insolation ist also sehr groß, und nicht mit Unrecht sagt daher Draper neuerdings, wie schon früher Du Fay vermuthete, daß alle festen Körper, mit Ausnahme der Metalle, die Fähigkeit zu phosphoresciren besitzen.

Es wurde schon oben die allgemeine Bemerkung gemacht, daß die Phosphorescenz in Bezug auf Lichtstärke, Farbe und Dauer sehr verschieden sei. Bei

einigen Körpern ist das Licht glänzend und hell, bei anderen ruhig und sanft, bei vielen endlich matt, schwach und kaum bemerkbar. Alles phosphorische Licht der natürlichen, noch nicht durch künstliche Präparation veränderten Phosphore ist nach Heinrich weiß und ohne prismatische Farben, nur das Licht einiger Diamante anfangs etwas feurig. Künstliche Präparate hingegen können mit mancherlei Farben prangen, so der Bologneser Leuchtstein mit einem gelbrothen, der Schwefelstrontian mit einem grünen oder bläulichen, der Canton'sche Phosphor mit einem hellgelben oder rosenrothen, Glycinerde und Chlorophan mit einem grünen. Diese Farbe steht in keiner Beziehung zu der Farbe des Lichtes, mit welchem der Leuchtstein zum Phosphoresciren gebracht wurde; wie denn z. B. der mit dem blauen Strahle insolirte Diamant oder Canton'sche Phosphor mit ihrem gewöhnlichen Lichte leuchten.

Der Flußspath und der Diamant leuchten unter den natürlichen Phosphoren am längsten, nämlich mehrere Minuten; die am stärksten leuchtenden Phosphore sind nicht die, welche am längsten leuchten, so z. B. hat der zuweilen eine halbe Stunde leuchtende Flußspath ein minder lebhaftes Licht, als die Phosphore des kohlensauren Kalkgeschlechtes, welche höchstens eine halbe Minute leuchten. Die Angaben über die Länge der Dauer des Leuchtens weichen übrigens sehr von einander ab, weil es bei den hierüber angestellten Beobachtungen auf die größere oder geringere Dunkelheit des Beobachtungsortes, auf die individuelle Beschaffenheit des Auges des Beobachters und endlich noch auf die individuelle Beschaffenheit des Exemplars eines phosphorescirenden Körpers ankommt. Der Canton'sche Leuchtstein z. B. soll 10 Secunden dem Sonnenlichte ausgesetzt, nach Dessaignes 10 Stunden, nach Grotthuß 5 Tage, Chlorophan nach Grotthuß 10 Tage, nach Heinrich nur 30 bis 60 Minuten zu leuchten fortfahren ꝛc. Vergleichende Beobachtungen hat Osann angestellt. Er fand, daß das Leuchten des Bononischen Steins nach 4 Minuten, das des Arsenikphosphors erst nach 34 Minuten, das des Antimonphosphors nach 149 Minuten verschwand, zu welcher Zeit der Realgarphosphor noch eben so stark, als eine Stunde zuvor leuchtete. Die Stärke des Leuchtens der Phosphore verhält sich im allgemeinen, wie die Stärke des Lichts, welches es erregte; am wirksamsten ist daher das helle Sonnenlicht und klares Tageslicht. Canton'sche und Bologneser Phosphore, Diamant, Papier und Chlorophan werden schon durch starkes Lampenlicht leuchtend und bei einigen Diamanten, so wie beim Canton'schen Phosphor hat man sogar durch Mondlicht Phosphorescenz hervorzubringen vermocht. Bemerkenswerth ist, daß der durch Glühen frisch bereitete Bononische Leuchtstein nicht leuchtet, bevor man ihn dem Lichte ausgesetzt hat. Osann und Pl. Heinrich fanden, daß, wenn man frisch bereitete Leuchtsteine noch heiß, so wie man sie eben aus dem Tiegel oder aus den glühenden Kohlen nimmt, dem Sonnenlichte aussetzt und sie dann ins Dunkle bringt, sie wenig oder gar nicht leuchten. Ihre Eigenschaft, durch Bestrahlung leuchtend zu werden, nimmt in demselben Verhältniß zu, in welchem sie erkalten.

Unter den Strahlen des Prismas wirkt nach Matteuci der violette (nach Grotthuß der blaue) am stärksten, das über das Spectrum hinausgehende und das indigofarbene schwächer, die übrigen farbigen Strahlen kaum merklich zur Hervorbringung der Phosphorescenz. Geht das Licht vorher durch gefärbte Substanzen, so zeigt sich das nämliche Verhalten. Die Transparenz äußert keinen Einfluß auf die Stärke der Phosphorescenz, die Dicke einen geringen, aber Farbe

und Beschaffenheit der transparenten Körper, durch welche das Licht vorher fällt, einen sehr bedeutenden, so daß die Phosphorescenz ganz verschwinden kann. Phosphore, die durch farbloses Licht leuchtend geworden sind, erlöschen nach Seebeck und Becquerel im rothen Strahle viel schneller, als im Dunklen, ja im rothen, durch die Linse concentrirten Lichte augenblicklich. Rieß *) hat dies Verhalten namentlich an Diamanten bestätigt gefunden, indem diese durch blaues Licht zur Phosphorescenz gebracht wurden, während eine Bestrahlung mit rothem Lichte in hohem Grade schwächend wirkte. Diese an Diamanten festgestellte Thatsache ist deshalb besonders interessant, weil bei diesen nicht wie bei anderen phosphorescirenden Körpern an eine chemische Veränderung gedacht werden kann. Blaues und violettes Licht bewirken zwar auch Phosphorescenz, wie farbloses Licht, doch ist das Leuchten nicht so lebhaft, es müßte denn durch eine Linse concentrirt sein.

Dessaignes hat beobachtet, daß bei guten Phosphoren die Bestrahlung sogar durch sie umgebende Körper hindurch noch wirksam werde. So wurde z. B. ein mit Papier umwickelter Diamant noch durch Bestrahlung leuchtend und erst nach einer 6fachen Umwickelung mit Papier hörte die Wirkung der Insolation auf. Derselbe Diamant wurde auch noch bei einer Bedeckung mit Lindenholz von $2^1/_2$ bis 7 Millim. Dicke, mit weißem Leder, mit Zinnfolie, mit dem Zeigefinger phosphorescirend. Im allgemeinen leuchten unter übrigens gleichen Bedingungen weiße Körper besser als farbige und diese besser als braune und schwarze, und Körper in massiven Stücken besser, als in Pulverform. — Berühren, Drücken, Reiben mit der Hand und dergleichen hemmt das Leuchten nicht. Auch unter reines Wasser getauchte Körper werden durch Bestrahlung leuchtend, so wie sie ihr phosphorisches Licht nicht verlieren, wenn sie nach der Bestrahlung unter Wasser versenkt werden, vorausgesetzt, daß das Wasser den Körper nicht auflöse. Gut phosphorescirende Diamanten behielten diese Eigenschaft nach Pl. Heinrich auch im Wasserstoffgas, kohlensauren Gas und Salpetergas, und sollen nach Großer selbst in Torricellischer Leere phosphoresciren.

Was bei den angeführten Fossilien im Kleinen stattfindet, wie uns die Beobachtungen zeigen, daß sie nämlich durch Bestrahlung zu selbstleuchtenden Körpern werden, findet in der Natur wahrscheinlich auch im Großen statt und so ist die Vermuthung von Leslie und Pl. Heinrich nahe liegend, daß das Licht der Planeten und des Mondes nur zum Theil von der Reflexion des Sonnenlichtes herrühre, zum Theil aber auch durch Phosphorescenzvermögen nach Bestrahlung. Heinrich leitet von dieser letzten auch die längere Dauer der Abendröthe vor der Morgenröthe ab.

Wie die Bestrahlung, so macht auch die Wärme eine große Anzahl von Körpern im Dunklen leuchtend und zwar werden fast alle nach der Insolation leuchtend werdende Körper auch durch Wärme leuchtend. Einige Körper, z. B. die Metalle leuchten nicht nach der Bestrahlung, wohl aber nach Erwärmung. Im Allgemeinen sind die besten Phosphore durch Insolation auch die besten Leuchter durch Erwärmung und die am längsten nach der Bestrahlung leuchtenden Körper leuchten auch durch Erwärmung am längsten. Die meisten der sowohl durch Bestrahlung als Erwärmung leuchtend werdenden Körper leuchten durch Erwärmung

*) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 334.

länger, als durch Insolation; nur gerade die am längsten durch Bestrahlung leuchtenden Körper, wie der Diamant und der Flußspath leuchten kürzere Zeit durch Erwärmung. Je größer der angewendete Temperaturgrad ist, desto stärker ist das Licht der Phosphoren, desto kürzer aber die Dauer desselben. — Heinrich hatte sich einen völlig gegen den Eintritt alles Lichtes verwahrten Kasten machen lassen, in welchem er, damit das Auge während der Beobachtungen nie durch ein anderes Licht, als das schwache Licht der phosphorescirenden Körper gereizt werde, so lange, als die Versuche dauerten, verweilte. Bei dieser Vorbereitung des Auges konnte er selbst sehr schwache Grade von Leuchten wahrnehmen. Die zu beobachtenden Körper wurden ihm durch einen sogleich wieder völlig dicht und von selbst sich schließenden Schieber hineingereicht. Von Grotthuß brachte bei ähnlichen Versuchen sein Auge unter die Decke eines Bettes und ließ sich dorthin die zu beobachtenden Körper in das völlige Dunkel hineinreichen, um sie mit gut vorbereitetem Auge zu beobachten. Um die Erwärmung zu bewirken, bediente sich Heinrich einer Schale von dickem Kupfer, die ihm noch glühend in den Kasten hinein gereicht wurde und auf welche er, nachdem das sichtbare Glühen aufgehört hatte, die Mineralien und andere zu untersuchende Körper legte und ihre Phosphorescenz nach Stärke, Farbe und Dauer angab; auf diese Weise hat Heinrich eine sehr große Anzahl von Beobachtungen angestellt. Die Anwendung von leuchtender Wärme muß vermieden werden, damit alle Phosphorescenz durch Bestrahlung ausgeschlossen bleibe. Durch die schwächste Temperaturerhebung wurden die Körper leuchtend, wenn man sie bei den Versuchen in Gestalt eines mäßig feinen Pulvers anwendete; übrigens richtet sich der Temperaturgrad, welcher Leuchten hervorbringt, nicht nur nach der materiellen Verschiedenheit der Körper, sondern ist auch bei den verschiedenen Individuen derselben Art verschieden. Unter allen Fossilien scheint der Flußspath dasjenige zu sein, welches bei der niedrigsten Temperatur, nämlich schon zwischen 70° und 88° C. leuchtend wird.

Bei den meisten Körpern ist das Licht sanft ausströmend; bei den Metallfeilen und einigen schweren Metalloxyden und Metallsalzen ist es funkelnd. Die Farbe des Lichtes ist mannichfaltiger, als bei der Insolation, und es läßt sich, weil sie zum Theil durch Nebenumstände bestimmt wird, nicht wohl etwas Allgemeines darüber angeben. Bemerkenswerth ist, daß derselbe Körper in den verschiedenen Phasen seines Erwärmens oder Erkaltens oft mehrere Farben successiv durchläuft, so daß es scheint, als ob er die verschiedenen Lichtstrahlen mit ungleicher Kraft festhielte. Vorzüglich zeigen die flußsauren und kohlensauren Kalkerden, der Schwerspath, Talk- und Thonerde dies Phänomen. Ein Flußspath in kleinen Fragmenten zeigt bei allmälig zunehmender Wärme der Ordnung nach folgendes Farbenlicht: mattweißlich, gelblich, grün, bläulich, violett (das Violett ausnehmend schön und anhaltend). Zwei etwas größere Stückchen erreichten das Violett nicht, sondern blieben beim Hellgrün stehen; nur das Pulver kam bis zum glänzenden Weiß hinauf, zeigte aber die Zwischenfarben nicht. (Ueberhaupt taugt Pulver zu solchen Versuchen nicht, weil es zu früh das Maximum der Phosphorescenz erreicht.) — Ein Feldspath äußerte successiv folgende Farben: schwaches Licht, gelblich, grünlich, bläulich, glänzend hell. Hiernach scheint es, daß die weniger brechbaren Strahlen am leichtesten entweichen.

Das Licht durchdringt den ganzen Flußspath, so daß man die Schichten unterscheiden kann und die ganzen Stücke wie durchsichtig erscheinen. Bei Pulver

hielt die Phosphorescenz einige Minuten an und größere Stücke leuchteten 15 Minuten. Auf einem heißen Ofen leuchtet der Flußspath Tage lang. Nach Grotthuß zeichnet sich durch seine Phosphorescenz bei Erwärmung besonders der röthlich violette Flußspath von Nertschinsk, der Pyrosmaragd oder Chlorophan aus. Derselbe wird bei der Erhitzung smaragdgrün und nachher beim Erkalten erst farblos, dann wieder violett; wenn er nach der Erhitzung im Tageslichte grün aussieht und hierauf in einen verfinsterten Raum gebracht wird, so erscheint er hier smaragdgrün und stärker leuchtend als alle anderen Flußspathe *). Die meisten Mineralien und die Schwerspathe leuchten zwar bei der Erwärmung, verlieren aber bei hohen Temperaturen, die letzteren durch das Glühen, die Fähigkeit zu leuchten. Die Diamanten wurden bei sehr ungleichen Temperaturen leuchtend, einige schon bei der Siedhitze des Wassers, andere noch nicht bei einer Hitze von 212° C. Auch die übrigen Edelsteine leuchten zum Theil erst in sehr hohen Temperaturen. Topas leuchtete schön hellgelb; Amethyst gepulvert leuchtete grün und gelb; orientalischer Granat glühendroth; Bergkrystall wurde bei großer Hitze durchaus leuchtend. Kiesel und Sand leuchteten besser als gefärbte Gläser und diese besser als weißes Glas. Von den Mineralien, deren Hauptbestandtheile Bittererde oder Thonerde ist, leuchteten einige (in Gestalt von grobem Pulver angewendet) gut, z. B. Meerschaum, Amianth, Talk, Feldspath u. a. Die künstlichen Phosphore leuchten bei der Erwärmung, aber nicht eben mit ausgezeichneter Schönheit.

Osann fand bei den von ihm verfertigten Leuchtsteinen: Antimonphosphor, Realgarphosphor, Arsenikphosphor, daß sie trocken der Hitze des kochenden Wassers ausgesetzt mit der ihnen eigenthümlichen Farbe leuchteten, in kochendes Wasser eingetaucht zwar anfangs leuchteten, aber bald erloschen. Der Arsenikphosphor behielt auch nach dem anhaltenden Glühen seine Eigenschaft leuchtend zu werden. — Bei Salzen, deren Basen Alkalien oder Erden sind, findet zuweilen beim Aufstreuen auf die heiße Platte ein plötzliches Entstehen von Lichtfunken ohne dauerndes Phosphoresciren statt. Potasche leuchtete prächtig orange, hellglänzend und dann weißlich, selbst Asche von weichem Holze leuchtete mattweiß 25 Secunden lang. Feuchte Salze leuchteten fast gar nicht, doch stieg bei einem ziemlich trockenen

---

*) Chlorophan, der durch Glühen seine Leuchtkraft verloren hat, liefert durch Auflösung in Salzsäure und Abdampfen Krystalle von Flußspath, welche beim Erwärmen nicht oder sehr wenig leuchten, während frischer Chlorophan, oder geglühter, welchem durch den elektrischen Funken die Leuchtkraft wiedergegeben worden ist, auf dieselbe Weise mit Salzsäure behandelt, Krystalle liefert, die beim Erwärmen leuchten. Bringt man geglühten oder ungeglühten Chlorophan in Salzsäure und fällt ihn durch Ammoniak, so leuchtet der Niederschlag des ersteren mit schwach bläulichweißem, des letzteren mit lebhaft smaragdgrünem Lichte. Schlägt man die salzsaure Auflösung des ungeglühten Chlorophans durch Schwefelsäure nieder, so leuchtet der erhaltene Gyps fast so lebhaft als der Chlorophan, nur mit etwas anderem Lichte; fällt man gewöhnlichen salzsauren Kalk durch Schwefelsäure, so erhält man als Niederschlag einen Gyps, welcher gar nicht leuchtet. Löst man auf der einen Seite geglühtes, auf der anderen geglühtes und hinterher elektrisirtes Kochsalz in Wasser auf und dampft beide Auflösungen ab, so dampft letztere Auflösung unter Auswittern schneller ab und liefert ein beim Erwärmen lebhafter leuchtendes Salz. Geglühtes und vor allem Lichtzutritt verwahrtes Kochsalz (nach Dessaignes auch mehrere andere Salze) zeigt sich durch Erwärmung schwach leuchtend, wenn man es mit Wasser befeuchtet. (Ueber die Wirkung der Elektricität auf das Leuchten s. d. Folg.)

vegetabilischen Kali ein leuchtender Dampf auf und nachher leuchtete der Körper mit funkelndem Lichte. Kein Salz, das durch Erhitzen schmilzt, leuchtet. Kochsalz verlor durch Glühen zum Theil die Fähigkeit zu phosphoresciren, ätzendes Salz verlor sie ganz, Salpeter dagegen leuchtete besser, nachdem er in einem Schmelztiegel lange Zeit flüssig erhalten war. — Die Metallfeilspähne geben zuweilen ein augenblickliches Glühen; krystallisirter Grünspan gab ein Funkeln und Glühen und ein Stückchen schien sogar in eine schwache Flamme auszubrechen; Quecksilber zeigte keine Spur von Licht und selbst bis zum Aufwallen erhitzt nur schwachen Schimmer; cubischer Schwefelkies kam purpurroth glühend in den Kasten und leuchtete 25 Sec. länger als das Kupfer; grobe Körner dieses Schwefelkieses, auf das schon dunkle Kupfer ausgestreut, leuchteten grünlich. Bleigraues Spießglanzerz und Spießglanzglas leuchteten schön. Heinrich macht hierbei die Bemerkung, daß die Metalle drei verschiedene Erscheinungen zeigen. Erstlich bemerkte man an den Feilspähnen, wenn sie auch auf dunkel heißes, nicht mehr glühendes Kupfer fallen, zuweilen ein augenblickliches Funkeln, welches man wohl als wirkliches Glühen so kleiner Theilchen ansehen müsse; zweitens trete bei den geschwefelten Metallen zuweilen ein wahres Verbrennen ein, aber drittens zeigen auch manche Metalloxyde eine eigentlich so zu nennende Phosphorescenz. — Unter den brennbaren mineralischen Substanzen zeichnete sich Graphit durch ein grünliches, nachher weißliches Licht aus; Bernstein leuchtete feurig glänzend und nachher goldgelb; Schwefel entzündete sich. Faules Holz gerieth auf dem dunkel heißen Kupfer in förmliches Glühen; Mehl aus Mais bringt zuerst einen augenblicklichen starken Schimmer, dann ein schönes, ruhiges Licht hervor; auch Roggenmehl leuchtet, Stärke desgleichen. Weißes Schreibpapier leuchtet auf der dunkel heißen Platte, ohne sich zu entzünden. Elfenbein sprüht anfangs Funken, nachher leuchtet es mit einem ins Grünliche spielenden Lichte. Harte Knochen leuchten grünlich; Eierschalen anfangs grün, dann gelblich weiß, selbst schon bei verminderter Hitze; Pulver von Austerschalen anfangs grünlich, bei abnehmender Wärme gelb, zuletzt weißlich. Auch die Oele leuchten bei starker Erwärmung, Terpentinöl und Steinöl hören auf zu leuchten, wenn sie etwas unter die Siedehitze des Wassers abgekühlt sind, Provenceröl bei 237° C., Wachs bei 169° C. Im Allgemeinen leuchten nach Heinrich diejenigen Körper am besten, welche am meisten unverbrennbar und noch mit einer Säure verbunden sind. Tropfbarflüssige nicht brennbare Körper und eben so durch das Feuer ausgeglühte und schon ausgebrannte Körper werden nicht durch Erwärmung leuchtend. Auch die sonst gut leuchtenden Körper verlieren durch zu starke Erhitzung ihre Phosphorescenz. Flußspath, der durch heftiges Glühen seine Leuchtkraft verloren hat, erhält dieselbe wieder, wenn man ihn mit flußsaurem Wasser benetzt und mehrere Stunden in flußsaurem Gase läßt. Auf ähnliche Weise erhält der durch Brennen seiner Phosphorescenz beraubte Schwerspath dieselbe wieder, wenn man ihn mit verdünnter Schwefelsäure befeuchtet und trocknen läßt. Nach Dessaignes leuchten rauhe Flächen stets leichter und stärker als polirte und manche Körper, welche polirt nicht leuchten, werden dadurch zu Phosphoren bei der Erwärmung, daß man ihnen eine rauhe Oberfläche giebt.

Außer durch Insolation und durch Wärme kann man Körper auch durch den elektrischen Funken leuchtend machen. Heinrich, v. Grotthuß, Pearsall*)

*) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 252 u. Bd. XXII. S. 506. Journ. of the roy. inst.

haben vorzugsweise die hierauf bezüglichen Verhältnisse der Untersuchung unterworfen. Heinrich ließ den Funken einer geladenen Flasche von 160 Quadratzoll Belegung zwischen Kugeln, die 1/2 Zoll von einander entfernt waren, überschlagen und bewirkte auf diese Weise die immer gleiche Stärke des Funkens; die in dem Versuche zu prüfenden Körper wurden zwischen eine Unterbrechung der Metalldrähte, wo der Zwischenraum 10 bis 12 Linien betrug, auf eine Harzfläche gelegt, so daß der Funke seinen Weg über sie nehmen mußte, und nach einer im Dunklen zweimal hinter einander erfolgten Entladung ward die Dauer des Leuchtens beobachtet. Hier zeigten sich nun wieder die Mineralien aus dem Kalkgeschlechte und die Schwerspathe als vorzüglich gut leuchtend. Doppelspath leuchtete über 6 Minuten, roher Kalkstein 4 bis 5 Minuten, grüner Flußspath und Schwerspath 6 Minuten, schwach gebrannter Schwerspath 8 Minuten, gebrannte Austerschalen 50 Minuten. Einige dieser Körper erlangten zuerst einen farbigen Glanz, der aber bald ins Weißliche überging.

Aus diesen und anderen Versuchen, welche Grotthuß anstellte, geht hervor, daß der elektrische Funke das Leuchten wie das Sonnenlicht durch Bestrahlung erzeugt. Zu bemerken ist, daß die meisten Körper nur in der Linie leuchteten, welche den Weg des elektrischen Funkens bezeichnete, die meisten künstlichen Phosphore jedoch und Zucker zeigten sich in ausgedehnterer Breite leuchtend. Wichtiger und interessanter sind dagegen die neueren von Pearsall angestellten Versuche, aus denen hervorgeht, daß der elektrische Funke im Stande ist, das Leuchtvermögen zu erhöhen und das verlorene Leuchtvermögen der Phosphore wieder herzustellen. Schon Grotthuß hatte bemerkt, daß die Eigenschaft des Chlorophans, bei gelinder Hitze leuchtend zu werden, wenn er sie durch stärkeres Erhitzen verloren hatte, wieder hervorgerufen werde, wenn man dicht über seine Oberfläche mehrere starke Funken von elektrischen Schlägen hinwegleitet. Ein Gleiches fand Pearsall bei mehreren Kalkspatharten und Diamanten. Auch im Allgemeinen über das Vermögen des elektrischen Funkens Körper leuchtend zu machen hat Pearsall Versuche angestellt.

Nicht allein solche Körper, die in ihrem fossilen Zustande die Eigenschaft haben, zu phosphoresciren, sondern auch andere können durch elektrische Schläge diese Eigenschaft bekommen. Als Beispiel hiervon führt Pearsall mehrere Arten von kohlensaurem Kalk, calcinirten Fischknochen und Schneckenschalen an. Bei solchen, die schon in ihrem natürlichen Zustande phosphoresciren, wird diese Eigenschaft durch Elektricität erhöht. Diejenigen, welche durch zu starkes Erhitzen dieselbe verloren und durch elektrische Schläge wiederbekommen haben, phosphoresciren dann selten mit eben so starkem Lichte wie vorher. Inzwischen hängt die Farbe viel vom (so zu sagen) Lichtreichthum des phosphorescirenden Körpers ab, denn Pearsall fand, daß derselbe Körper nach einigen elektrischen Schlägen schwach leuchtete, z. B. mit purpurfarbenem Licht, nach mehreren stärker und mit grünem Licht, und nach 100 Schlägen oder beim Maximum seiner Phosphorescenz, war das Licht fast weiß. Das durch den elektrischen Funken erlangte Vermögen zu phosphoresciren, erhielt sich mehrere Monate lang *). Bei dieser Gelegenheit

T. I. p. 77 u. 267. Bibl. univ. T. XLV. p. 352 u. T. XLVI. p. 236. Kastner's Archiv. Bd. XXI. S. 357.

*) Ein, im natürlichen Zustande sehr stark phosphorescirender Chlorophan, der bei

fand es sich, daß gefärbte Flußspathe, welche mit ihrem Vermögen zu phosphoresciren beim Erhitzen auch ihre Farbe verloren hatten, bei Wiederherstellung ihrer Phosphorescenz durch elektrische Schläge sich öfters, jedoch nicht immer, wieder färbten, wiewohl selten mit derselben Farbe, die sie zuvor hatten. Purpurfarbener, nicht erhitzter Flußspath wurde durch elektrische Schläge dunkler gefärbt; der anders gefärbte aber wurde nicht verändert. Wenn sich geglühter Flußspath durch elektrische Schläge färbte, so wurde die Farbe stärker an den Kanten und Ecken, so wie auch an den von Sprüngen gebildeten Kanten. Diese neu erhaltene Farbe verblich wieder leicht am Tageslicht. Die im natürlichen Zustand am stärksten gefärbten Flußspathe wurden auch durch Elektricität am stärksten gefärbt. Die Farben variirten zwischen Roth, Lilla und Blau. Alle diese Versuche glückten auch, wenn die angewandten Proben in Glasröhren eingeschlossen waren. Mit dem durch Entladung der elektrischen Säule erhaltenen Licht konnten sie zwar ebenfalls hervorgerufen werden, allein schwächer. Pearsall vermuthet, die Phosphorescenz beruhe auf einer inneren krystallinischen Structur, die sich jedoch auch in geschlämmtem Pulver erhalte, da solches beim Erhitzen phosphorescire, dies aber nach der Auflösung und Fällung nicht mehr thue. Er fand, daß Flußspath, wenn man ihn in Salzsäure auflöst und durch Ammoniak wieder fällt, weder phosphorescirte, noch durch elektrische Schläge diese Eigenschaft wieder erlangen konnte. Dagegen phosphorescirten kleine Krystalle, die sich beim Verdunsten der salzsauren Lösung gebildet hatten. Als Resultat seiner Versuche hatte v. Grotthuß angegeben, daß Flußspath, der sein Vermögen zu phosphoresciren noch besaß, nach der Auflösung und Fällung dasselbe noch behalten hatte; daß aber solcher, der es schon vorher verloren hatte, dasselbe nach der Auflösung und Fällung nicht wieder bekam. S. oben S. 498 Anmerk.

E. Becquerel überzeugte sich zunächst, daß das durch Insolation erzeugte Licht eines Leuchtsteines aus Schwefelcalcium und gepulverten Austerschalen im luftverdünnten Raume nicht schneller abnahm, als in der Atmosphäre. Hierauf brachte er Pulver dieses Leuchtsteines in einem mit einer Gypsplatte bedeckten Schälchen unter die Glocke des Recipienten, verdünnte die Luft und ließ einen elektrischen Funken aus 18 Flaschen darüber streichen. Das phosphorische Leuchten war eben so stark, als wenn sich Luft unter der Glocke befand. — Zwei neben einander stehende gläserne Ballons mit langen Hälsen waren so eingerichtet, daß der eine mittelst eines Hahnes auf die Luftpumpe geschraubt und in ihm die Luft

Erwärmung erst ein bläulichgrünes, sehr helles, dann nelkenrothes mit blassem Weiß gemischtes Licht gab, wurde durch Rothglühen seiner phosphorescirenden Eigenschaften gänzlich beraubt. Als darauf über denselben ein einziger elektrischer Schlag aus einer kleinen Leidner Flasche von etwa 1 Quadratfuß Belegung geleitet ward, wurde das Mineral beim Uebergange der Elektricität mit grüner Farbe leuchtend, und als die so elektrisirte Portion erhitzt ward, phosphorescirte sie mit grünem Lichte, fast eben so stark, wie eine Portion des Minerals im natürlichen Zustande, mit dem sie verglichen ward. Dieser Versuch gab bei mehrmaliger Wiederholung stets dieselben Resultate. Als wiederholte Schläge auf den durch Glühen der Phosphorescenz beraubten Chlorophan geleitet wurden, zeigte sich, daß das Phosphorescenzvermögen mit der Zahl und Stärke derselben zunahm, indem das bei Erhitzung ausgestrahlte grüne Licht nach drei, sechs oder zwölf Schlägen dunkler und anhaltender, als nach einem einzigen Schlage ward. — Tage lang einwirkendes Sonnenlicht vermochte die durch Glühen von Chlorophan zerstörte Phosphorescenz nicht wieder herzustellen. Analoge Resultate wie am Chlorophan wurden am Flußspath und Apatit erhalten.

verdünnt oder bis auf vier Atmosphären verdichtet werden konnte; durch die Mitte von beiden ging eine Vorrichtung von Draht, durch deren Hülfe ein und derselbe Batteriefunke von zwei Kugeln über das zum Phosphoresciren zu bringende Pulver schlug. Als Resultat der Versuche stellte sich heraus, daß der Funke in verdünnter Luft die Phosphorescenz weniger, in verdichteter stärker erregt, als unter gewöhnlichem atmosphärischen Drucke. — Wurde der Ballon mit Kohlensäure gefüllt, so war wohl ein Unterschied wahrzunehmen, aber nicht entschieden zu bezeichnen. — Ließ er den elektrischen Batteriefunken in einer Entfernung von 2 Centimetern über das Austerschalenpräparat hinstreichen, so zeigte sich doch Phosphorescenz, eben so bei einem Abstande von 1, 5, 20, 30 Centimetern; jedoch wurde mit der Entfernung die Wirkung schwächer. Bei einer Entfernung von etlichen Decimetern wird die Phosphorescenz verstärkt, wenn man die elektrischen Schläge wiederholt. Der hierbei eintretende Geruch nach Schwefelwasserstoffgas deutet auf eine vermehrte chemische Zersetzung. — Ein frei über den Phosphor in einem Abstande von 2 Centimetern hinstreichender Funke erregte ein starkes Leuchten; wurde eine 3 Millimeter dicke Glasplatte dazwischen gebracht, so war das Leuchten nur schwach, noch schwächer bei einer 8 Millim. dicken Platte, ungeachtet sie sehr durchsichtig war. Selbst eine Glasplatte von nur 1 Millim. Dicke und eine nur 0,5 Millim. dicke Platte von durchsichtiger Gallerte ließen eine nur schwache Phosphorescenz zu Stande kommen. Mit einem 2 Millim. dicken rothen Glase erhielt man gar kein Leuchten, violettes Glas wirkte wie ungefärbtes, blaues schwächer, gelbgrünes wie rothes. — Zwei Platten aus verschiedenen Substanzen, z. B. eine 3,65 Millim. dicke Glasplatte und eine 5,953 Millim. dicke Bergkrystallplatte, wurden an ihren Rändern so zusammengekittet, daß die beiderseitigen Flächen in derselben Horizontalebene lagen. Wurden diese so auf die Schälchen gelegt, daß die Verbindungslinie den elektrischen Funken unter einem rechten Winkel kreuzte und in der Mitte zwischen den Kugeln des Entladers sich befand, so zeigte sich das Pulver unter der Glasplatte fast dunkel, während das unter der Bergkrystallplatte viel stärker leuchtete. Die Phosphorescenz verschwand bald, theilte sich aber vorher der dunklen Hälfte etwas mit. Wurde der Versuch nach Umdrehung der Platte wiederholt, so zeigte sich dasselbe Resultat. Die Grenze zwischen der dunklen und leuchtenden Hälfte war scharf. Bei einer Combination von einer 3,55 Millim. dicken Glasplatte und einer gleich durchsichtigen 7,6 Millim. dicken Gypsplatte, die sehr diatherman war, zeigte sich die Phosphorescenz unter der Gypsplatte stärker, als unter der Glasplatte, sogar stärker als unter der Bergkrystallplatte. Eine Combination aus derselben Glasplatte mit einer weniger durchsichtigen 41,2 Millim. dicken, senkrecht gegen die Axe geschnittenen Platte von Bergkrystall ergab nur unter der letzteren Phosphorescenz. War das Schälchen mit Papier bedeckt, in dessen Mitte sich ein kleines Loch befand, so entstand unter diesem ein leuchtender Punkt, von welchem aus sich das Leuchten allmälig über die ganze Fläche verbreitete. Da der gebrauchte Phosphor durch die wiederholte Einwirkung des elektrischen Funkens an Empfindlichkeit zunahm, so wurde frisch bereiteter Austerschalenphosphor in die Schälchen gebracht, und bei einer Combination aus einer senkrecht gegen die Axe geschnittenen Rauchtopasplatte von 21,75 Millim. Dicke und einer klaren Glasplatte von 3,55 Millim. Dicke zeigte sich erst in 12, dann in 7 Centim. Abstand des Funkens eine merkliche Phosphorescenz unter der Topasplatte, während unter der Glasplatte nichts wahr-

zunehmen war. — Eine schräg gegen die Axe geschnittene klare Rauchtopasplatte von 90 Millim. Dicke zeigte eine schwache, aber doch merkliche Phosphorescenz. — Wurde das Schälchen mit einer, zwischen zwei klaren, senkrecht gegen die Axe geschnittenen Platten von Bergkrystall eingeschlossenen, 3,5 Millim. dicken Wasserschicht bedeckt, über diese undurchsichtiges Papier mit einem runden Loche gelegt und ein elektrischer Funke darüber geführt, so zeigte sich unter dem Loche ein phosphorischer Schein.

Veranlaßt, wie es scheint, durch diese Becquerel'schen Versuche experimentirte Draper noch mit anderen Lichtquellen. Wenn ein Strahl Sauerstoff durch eine Spirituslampe auf Kalk geleitet wurde, so ergab sich hinter dem Glase eine eben so starke Phosphorescenz wie hinter einer Quarzplatte. Eben so wirkte das Licht einer Argand'schen Lampe durch Glas. Von dem Sonnenlichte stand die Thatsache schon vorher fest. — Da der leuchtende Bogen zwischen zwei Kohlenspitzen eben so wie der elektrische Funke wirkt, so kann die Ursache der verschiedenen Wirkung des elektrischen Funkens nicht in der kurzen Dauer desselben liegen. Nach Draper gehört das Licht des elektrischen Funkens den brechbarsten Strahlen des Spectrums an, während das des glühenden Kalkes die Farbe von dem entgegengesetzten Ende hat. — Unter dem Einflusse eines kräftigen Elektromagneten zeigte sich in dem Leuchten eines durch den elektrischen Funken phosphorescirend gemachten Chlorophans, Canton'schen Phosphors &c. keine Veränderung, das Leuchten blieb unverändert, mochte der Magnetismus erregt sein oder nicht. — Durch den elektrischen Funken eines Stromunterbrechers (vergl. Art. Inversor Bd. IV. S. 114) konnte in allen bisher gebrauchten Substanzen Phosphorescenz hervorgebracht werden, und zwar nahm die Intensität des Lichtes bis zu einem gewissen Punkte zu mit der Anzahl der Funken. — Eine Mittheilung der Phosphorescenz von einem leuchtenden Körper an einen anderen ließ sich nicht nachweisen. — Draper fand auch eine Varietät des Flußspathes, die durch Sonnenstrahlen phosphorescirend gemacht wurde. — Durch Einschalten einer gelben Glasplatte zwischen die Sonne und den pulverisirten Chlorophan wurde die Phosphorescenz verhindert, aber durch eine polirte Flußspathplatte hindurch trat sie ein. Wurde jedoch bei diesem Versuche statt der Sonnenstrahlen ein elektrischer Funke gebraucht, so verhinderte der Flußspath die Phosphorescenz.

Draper erstreckte seine Untersuchungen ferner auf die Veränderungen, welche in dem phosphorescirenden Körper eintreten. Er kam hierbei zu folgenden Resultaten:

1) Daß die von ihm angewandten Mittel nicht empfindlich genug waren, um eine Vergrößerung der Dimensionen eines phosphorescirenden Körpers im leuchtenden Zustande wahrnehmbar zu machen.
2) Daß vermittelst des polarisirten Lichtes keine Structurveränderung bemerkbar ist; daß eine solche sich jedoch vermuthen läßt aus der Farbenveränderung bei gewissen Körpern, wenn ihnen die Fähigkeit zu phosphoresciren ertheilt wird, und aus der Art, wie die Dämpfe auf ihrer Oberfläche sich condensiren.
3) Daß die Phosphorescenz von einer geringen Temperaturerhöhung begleitet wird.
4) Daß die Phosphorescenz nicht nothwendig mit einer Elektricitätserregung verbunden ist.

Das dritte Resultat bedingt nothwendig eine Volumenveränderung im Widerspruche mit dem ersten, folglich kann dieses erste Resultat nur an der zu geringen Empfindlichkeit der Beobachtungsmethode liegen. Wegen des Speciellen der Untersuchung müssen wir auf die Quelle selbst verweisen *).

Die interessanten Untersuchungen Draper's über die von den phosphorescirenden Körpern ausgestrahlte absolute Lichtmenge ergaben, daß dieselbe sehr gering ist, und daß insbesondere ein schönes Stück Chlorophan im Maximum des Leuchtens ein dreitausendmal schwächeres Licht giebt als die Flamme einer sehr kleinen Oellampe. Bei dieser ungemein geringen Lichtstärke ist es auch erklärlich, daß die Wärme der phosphorescirenden Körper so gering ist, und daß es kaum möglich sein dürfte, eine durch dieselbe herbeigeführte Volumenveränderung direct nachzuweisen. Hier ist natürlich nicht die Wärme gemeint, welche ein Körper zeigt, wenn er durch Erwärmung zum Phosphoresciren gebracht ist, sondern die mit dem Phosphoresciren selbst als solchem verbundene. Die über den Einfluß der Temperatur auf die Phosphorescenz angestellten Versuche ergeben sogar ein ganz bestimmtes Resultat, nämlich daß die Menge von Licht, die ein Körper zurückhalten kann und die er als phosphorescirendes Licht wieder ausströmt, im umgekehrten Verhältnisse zu seiner Temperatur steht.

Aus dem eben angeführten Resultate erklärt sich, warum der Bologneser Stein nach Du Fay lebhafter leuchtet, wenn er von indirectem, als directem Sonnenlichte bestrahlt worden ist, da er im letzteren Falle eine höhere Temperatur annimmt; eben so warum unter violetten und anderen gefärbten Gläsern, welche die Erwärmung verhindern, eine lebhaftere Phosphorescenz eintritt, als wenn gar kein Glas eingeschaltet wird. Andererseits ist man aber wieder zu dem Schlusse berechtigt, daß die Lichtmenge, die ein Körper aufnehmen kann, im directen Verhältnisse steht zu der Menge und Intensität des Lichtes, dem er ausgesetzt ist.

Zur Erklärung der Phosphorescenz hat man verschiedene Hypothesen aufgestellt. Du Fay meinte, jede Phosphorescenz sei eine Verbrennung, Lemery nahm an, daß sich die Körper gegen das Licht eben so wie gegen die Wärme verhalten, daß sie nämlich dasselbe absorbiren und wieder ausstrahlen rc., Draper gelangte zu der wahrscheinlichen Ansicht, daß sich sämmtliche Phosphorescenzerscheinungen durch das Princip der Mittheilung vibratorischer Bewegung durch den Aether erklären lassen; daß das Licht der Sonne oder eines elektrischen Funkens eine schwingende Bewegung in denjenigen Körpern erregt, welche von den Strahlen getroffen werden; daß sich bei festen Körpern die Cohäsion diesen Bewegungen widersetzt, daß dieselben aber bei Gasen und Flüssigkeiten augenblicklich eintreten und fast eben so augenblicklich wieder verschwinden; daß bei Verminderung der Cohäsion eines festen Körpers in Folge einer Temperaturerhöhung die Bewegung wieder beginnen kann; und daß jedweder opake Zustand die ganze Erscheinung unmöglich macht.

Nicht nur an unorganischen Stoffen, sondern auch an organischen hat man im Dunklen ein Leuchten wahrgenommen. Bei lebendigen Pflanzen ist die Beobachtung öfters gemacht worden **); zuerst scheint aber die Tochter

*) Philos. Magaz. 4 Ser. T. I. p. 81. Krönig's Journ. Berlin 1851. Bd. I. S. 471.

**) Botanische Zeitung. 1823. S. 123.

Linné's die Erscheinung bemerkt zu haben, welche in einer schwülen Gewitternacht am Tropaeolum majus ein blitzendes Leuchten sah. Die Pflanzen, an welchen man ein derartiges Leuchten seitdem beobachtet hat, sind: Lilium bulbiferum und chalcedonicum, Helianthus annuus, Tagetes patula und erecta, Calendula officinalis, Gorteria ringens, Tropaeolum majus und minus, Chrysanthemum inodorum, Oenothera macrocarpa, Phytolacca decandra *) und Polyanthes tuberosa, merkwürdiger Weise meist gelb gefärbte Blumen. Die Lichterscheinung ist nur während des Blühens in den Monaten Juli und August bei sehr heißer Witterung nach Sonnenuntergang beobachtet worden, und zwar schien dieselbe immer von den Geschlechtsdecken auszugehen. Ein und dieselbe Blume blitzt oft mehrere Male hinter einander, in der Regel vergehen aber mehrere Minuten, bis sich ein neuer Blitz zeigt.

Außer den angeführten Pflanzen ist noch von besonderem Interesse die Rhizomorpha subterranea, welche namentlich in Steinkohlengruben auf verfaultem Holzwerke wächst. Derschau, Laroche und Gerhard haben an derselben Beobachtungen gemacht **), eben so Nees v. Esenbeck der ältere und jüngere, Nöggerath und G. Bischoff ***). Unger ****) fand zu Radoboj in einer Grube das phosphorescirende Licht so stark, daß man in der Nähe vorhandene Gegenstände zu unterscheiden im Stande war. Er sagt: „Es sind nur die lichten Spitzen des verzweigten Thallus (d. h. Lager), welche jenen wechselnden, bald stärkeren, bald schwächeren Schein verbreiten. Die anatomische Untersuchung zeigt, daß dies von einer nicht unbeträchtlichen Schicht Zellengewebes herrührt, deren enge, zu einem Bündel vereinigte cylindrische Zellen durch eine reichliche Intercellularsubstanz verbunden sind. Diese leuchtende Schichte, welche die erwähnten Spitzen weißlich erscheinen läßt, verliert sich fast ganz über dieselbe hinaus.“ — Kurze Zeit nach dem Absterben hört das Leuchten der Rhizomorphen auf; durch Kohlensäure wird es aufgehoben, durch Stickgas und unter der Luftpumpe unterbrochen, durch atmosphärische Luft wieder hergestellt und durch Sauerstoffgas verstärkt.

Bei einigen anderen Pflanzen glaubte man auch ein phosphorescirendes Leuchten gefunden zu haben; doch hat sich dies nicht bestätigt. So hat Unger *****) nachgewiesen, daß der Vorkeim von Schistostega osmundacea zwar ein mildes, smaragdgrünes Licht entwickelt, daß dies aber durch eine eigene Reflexion und Refraction des Tageslichtes bewirkt wird, wie dies auch von Milde †) an dem Vorkeime von Farn und an den Blättern von Minium punctatum, welche andauernd von Wassertropfen umgeben waren, beobachtet worden ist.

Ein Beispiel einer in Brasilien wachsenden Pflanze, deren milchiger, bei Verletzung der Pflanze ausfließender Saft im Dunklen stark leuchtet, führt Mor-

*) An den Blättern dieser Pflanze ist das Leuchten von Szüts beobachtet worden (Trommsdorff's Journ. der Pharm. 8. 2. S. 51), seitdem aber nicht wieder.

**) Schweigger's Journ. Bd. XXXIX. S. 259; Bd. XLIII. S. 203; Bd. XLIV. S. 65.

***) Die unterirdischen Rhizomorphen, ein leuchtender Lebensproceß. Nov. Act. A. N. C. XI. P. 2. p. 603.

****) Anatomie und Physiologie der Pflanzen 1855. §. 205. S. 405.

*****) Flora 1834. Nr. 3.

†) Jahrb. der schles. Gesellsch. f. v. Kult. 1851. S. 82.

nay an *). Es ist dies die Euphorbia phosphorea, über welche namentlich Martius **) nähere Auskunft giebt. — Das Leuchten von Papaver orientale hält Göthe ***) für eine optische Täuschung, was jedoch Green ****) bezweifelt.

Viel öfter ist das Leuchten abgestorbener Pflanzentheile beobachtet worden. Namentlich hat man häufig leuchtendes Holz gefunden. Wie es scheint, sind unter geeigneten Umständen alle Theile der Bäume leuchtfähig; so wie alle verschiedenen Holzarten phosphorescirend werden können. Indeß scheinen doch von den bei uns wachsenden Hölzern die Erle, Weide und die Fichte am meisten der Phosphorescenz fähig zu sein. Das Leuchten des Holzes tritt früher ein als die Fäulniß, aber es ist nothwendig, daß es sich in einem gewissen Grade der Feuchtigkeit befinde; je mehr es die Feuchtigkeit verliert, desto schwächer leuchtet das Holz, und nachdem es zu leuchten ganz aufgehört hat, kann man ihm die verlorne Leuchtkraft durch mäßiges Benetzen mit frischem Wasser und Verhüllung in Papier und Leinwand wieder ertheilen. Heinrich hat gefunden, daß die Temperatur keinen wesentlichen Einfluß auf die Leuchtkraft des Holzes hat. Nur bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkte und über dem Siedepunkte hört das Holz zu leuchten auf, weil die in ihm befindliche Feuchtigkeit im ersten Falle erstarrt, im zweiten Falle durch die Hitze in Dampfform ausgetrieben wird. — Nach Pl. Heinrich kann man sich sicher jederzeit phosphorescirendes Holz verschaffen, wenn man die nach dem Fällen der Bäume zurückgebliebenen tiefgesenkten Pfahl- oder Seitenwurzeln, nachdem sie durch die Länge der Zeit abgestorben (so lange sie Sprößlinge austreiben, sind sie untauglich), ausgräbt, zu Hause in den Keller oder ein feuchtes Behältniß legt und für mäßige Befeuchtung sorgt. Sie werden dann unter der Rinde bald zu leuchten anfangen und lange damit fortfahren. — Will man sich leuchtende Baumäste verschaffen, so wähle man dergleichen von einem gesunden noch vegetirenden Baume, befreie sie von den dünnen Auswüchsen, vergrabe sie sammt der Rinde in mäßig feuchtes Erdreich und warte so lange, bis sich an ihnen ein Anfang von Verwesung zeigt. Sie fangen dann unter der Rinde an zu leuchten. — Man kann sich auch nach Heinrich dadurch leuchtendes Holz verschaffen, daß man in Waldungen recht alte Holzstumpfe, an denen sich bereits Spuren von Fäulniß zeigen, aussucht, die, wenn sie auch auswärts nicht leuchten, doch wenn man sie ausgräbt, im Innern sehr schön phosphoresciren werden. Bei einer Reihe von Versuchen, welche Heinrich über das Leuchten des Holzes in verschiedenen tropfbaren Flüssigkeiten anstellte, fand derselbe Folgendes: Unter Wasser und unter Quecksilber dauerte das Leuchten 24 Stunden, unter Oel 12 Stunden, unter Weingeist und Schwefeläther nur 10 bis 30 Minuten, ohne Zweifel, weil diese Flüssigkeiten das Wasser und die harzigen Theile des Holzes in sich aufnehmen und also den Zustand des Holzes sehr verändern. Säuren heben in kurzer Zeit das Leuchten auf. Daß die atmosphärische Luft das Leuchten befördert, schließt Heinrich daraus, daß gleiche Stücke Holz, im gesperrten luftvollen Raume und in freier Luft beobachtet, un-

*) Gilbert's Ann. Bd. LVI. S. 368.
**) Reise nach Brasilien. Bd. II. S. 726 u. 746.
***) Kastner's Arch. Bd. VII. S. 181.
****) Magaz. of natur. hist. London 1832. T. V. p. 208.

gleich lange leuchteten, im gesperrten Raume kürzere Zeit; das im gesperrten Raume schon erloschene Holz fing, nach einigem Zeitverlaufe, wieder an zu leuchten, wenn man Luft zutreten ließ. Indeß leuchtete das Holz auch in sehr verdünnter Luft fort und in Sauerstoffgas nicht merklich stärker. In Stickgas leuchtete das Holz 12 bis 24 Stunden, statt daß es in freier Luft 6, auch wohl 9 Tage zu leuchten pflegte: in Wasserstoffgas verhielt es sich ungleich, zuweilen erlosch es sehr bald; in Kohlensäure leuchtete es nicht über 20 Minuten, in Salpetergas nicht über 7 Minuten. Das leuchtende Holz scheint keine Verminderung des Sauerstoffes hervorzubringen, dennoch kann man dasselbe als einen sehr langsam vor sich gehenden Verbrennungsprozeß ansehen, bei dem nur unmerkliche Quantitäten Sauerstoff nach und nach verzehrt werden. Durch Behandlung mit siedendem Wasser oder Wasser von 65° R. wird das Holz ausgelaugt und hört auf zu phosphoresciren, woraus sich ergiebt, daß das Leuchten nicht eine Eigenschaft der Holzfasern, sondern der beigemengten Bestandtheile ist, die durch das heiße Wasser ausgezogen werden. Man hat auch bei anderen Pflanzen Leuchten, kurz ehe sie zu faulen begonnen, bemerkt, so z. B. leuchten Kartoffeln beim Zerschneiden, wenn sie im Keller liegend angefangen haben auszuwachsen.

Die Ursache des Leuchtens der Pflanzen ist noch unbekannt. Einige Naturforscher sind der Meinung, daß dasselbe auf einer Phosphor haltenden Secretion (?) beruhe *). Daß bei dem Phosphoresciren des morschen Holzes ein langsamer Verbrennungsproceß vorliege, ist auch nicht sehr wahrscheinlich; man müßte denn annehmen, daß während der Zersetzung der organischen Bestandtheile eine Verbrennung stattfinde, welche wenig Wärme, aber viel Licht entwickele. Einige suchten die Ursache in Pilzen, aber Hartig **) hat das Irrthümliche hiervon nachgewiesen und gezeigt, daß das Leuchten immer von der Holzsubstanz ausgeht.

Wie lebende Pflanzen, so giebt es auch lebende Thiere, welche leuchten, doch gehören die im gesunden Zustande leuchtenden Thiere sämmtlich den niederen Thierklassen an. Man kennt bis jetzt als leuchtende Thiere unter den Infusorien: Leucophra echinoides; Trichoda triangularis, granulosa, clava und echinoides; Gleba pseudohippus, crispa, crystallina, deformis, conus und spiralis. — Zoophyten: Pennatula phosphorea, Sertularia neritina und volubilis. — Mollusken: Sehr viele Arten von Medusa, wie pellucens (Banks), scintillans und lucida (Makartney) etc.; Beroë fulgens, globosa, Brasiliensis, micans und flava; Mammaria adspersa; Nereïs noctiluca und marina; viele Arten von Psyssophora und Salpa nebst den leuchtenden Eierstöcken der letzteren. — Schalthiere: Pholas dactylus. — Insecten und Crustaceen: Elater noctilucus, ignitus und phosphoreus; Fulgora laternaria und candelaria; Lampyris noctiluca, splendidula und laternaria; Pausus sphaerocerus Afzel; Scolopendra electrica, phosphorea und morsitans; Cancer fulgens und macrourus; Oniscus fulgens und einige Arten von Monoculus, Amymone und Nauplius. Am bekanntesten ist der bei uns vorkommende Leuchtkäfer oder das Johanniswürmchen (Lampyris splendidula und noctiluca). Unter Johanniswürmchen versteht man gewöhnlich das Weibchen, unter Johanniskäfer das Männchen der Lampyris noctiluca. Sowohl das

*) Burdach, die Physiologie als Erfahrungswissenschaft. Bd. V. S. 184; Bd. VI. S. 584.

**) Ueber das Leuchten des weißfaulen Holzes. Botanische Zeitung. 1855. 2. Stück.

Männchen, als auch, und zwar noch stärker, das Weibchen phosphorescirt bei diesem Thiere an einigen Stellen unter den letzten Bauchringen. Nach Pl. Heinrich jedoch bemerkt man am Weibchen des Johanniswürmchens außer den am stärksten lichten Stellen am ganzen Leibe ein schwaches, aber doch ausdauerndes Licht. Oeffnet man den Hinterleib eines Leuchtkäfers, so findet man, daß das Leuchten vermittelst einer besonderen Einrichtung hervorgebracht wird. Auf der Innenseite der drei Endringe entdeckt man eine gelblichweiße, halbdurchsichtige Materie, welche unter dem Mikroskop eine merkwürdige Bildung aus kleinen stark verzweigten Fasern zeigt und im Dunklen lebhaft leuchtet. Ist das Innere eines Ringes dieser Substanz beraubt, so leuchtet es nicht mehr. Die Phosphorescenz wird überhaupt äußerlich nur vermöge der ausnehmenden Durchsichtigkeit der Bedeckungen sichtbar. Man bemerkt bei den Versuchen mit diesen Thieren deutlich, daß die Phosphorescenz derselben von ihrer Willkür abhängt. Geräusch und Bewegung scheinen, wenn auch nicht immer, doch oft, das Insect zum Verdunkeln seines Lichtes zu veranlassen. Eben so ein plötzlicher Schlag, den es erhält, indeß sich das Leuchten zu vermehren scheint, wenn man den Leuchtkäfer mit wiederholten leichteren Stößen beunruhigt. Mangel an Nahrung, Gewitter und das Licht einiger Kerzen scheinen keinen merklichen Einfluß auf die freiwillige Phosphorescenz zu äußern. Wenn der Leuchtkäfer freiwillig sein Licht verdunkelt, so findet sich immer, daß das Phosphoresciren nach und nach abnimmt, und zwar beginnt dieses Abnehmen von dem vordersten, dem Kopfe nächsten Ringe, und von hier aus geht die Verdunkelung nach und nach weiter. Die Verdunkelung ist bisweilen vollkommen, zu anderen Zeiten bleibt ein schwaches Licht an den beiden Punkten des Endringes zurück. Das Mittel, vermöge dessen der Leuchtkäfer sein Licht verdunkelt, scheint eine rein nervöse Einwirkung zu sein; wenigstens geschieht es nicht mittelst Ueberziehens einer Haut. Man findet in der That bei anatomischer Untersuchung des Lampyris-Weibchens mehrere röthlich-weiße Nervenfäden, die sich in das leuchtende Organ vertheilen. Das freiwillige Leuchten der Johanniskäfer bemerkt man nur Nachts. Bei Tage liegen sie in einer Art Schlaf; sticht man sie aber mit einer Nadel, so kann man auch hier bei Tage ein schwaches Licht bemerken (Heinrich). — Sehr viel trägt zum Leuchten die Bewegung bei, daher sich das Leuchten des Männchens im Fluge und des Weibchens im Kriechen am schönsten ausnimmt. Bei jeder Schwingung des Körpers scheint sich das Licht zu entzünden und zur Zeit der Ruhe größtentheils zu verlöschen. — Bei dem Männchen der Lampyris italica bemerkt man an den leuchtenden Ringen des Bauches eine zitternde Bewegung, mit deren Zunahme der Glanz zunimmt und mit deren Abnahme derselbe schwächer wird. — Erhöht man die Temperatur, in welcher Leuchtkäfer sich befinden, bis zu gewissem Grade, so zeigt sich die Phosphorescenz sogleich, und dauert so lange, als die Wärme auf demselben Grade erhalten wird, sowohl unter Wasser, als in der Luft. Einen ähnlichen verstärkenden Einfluß äußert die Erwärmung auch nach dem Tode. — Trennt man den Kopf einer freiwillig leuchtenden Lampyris oder die drei leuchtenden Ringe ab, so wird das Licht nach und nach schwächer und nach 5 Minuten ist es völlig verschwunden; aber nach einigen Minuten erhalten die leuchtenden Ringe wieder Bewegung und die Phosphorescenz erscheint von neuem, aber mit immer weit minderem Glanze, und hält schwach 2 bis 3 Tage an; erst beim Erwärmen des Thieres erhält das Licht wieder Glanz und ein lebhaftes Phosphoresciren tritt dann auf

der Stelle ein. Diese Erscheinung läßt sich, so oft man will, während zwei bis drei Tagen wiederholen; später kann man sie nicht wieder hervorbringen. Auf gleiche Weise erhält auch ein natürlich gestorbener Leuchtkäfer während desselben Zeitraums eine schwache im Dunkeln sichtbare Phosphorescenz. — Im luftleeren Raume und in irrespirabeln Gasarten verlischt das Leuchten, scheint dagegen in Sauerstoffgas an Lebhaftigkeit zuzunehmen. Unter Wasser dauert es bei einiger Erwärmung fort, verlischt dagegen unter Mineralsäuren und Alkohol und überhaupt unter allen Umständen, unter welchen Eiweiß geronnen zu werden vermag, wie denn wirklich Macaire *) aus der Gesammtheit seiner Versuche das Resultat zieht, daß die leuchtende Materie eine eiweißartige Substanz sei. Sie ist nach demselben eine an der inneren Fläche der drei hintersten Bauchringe liegende, gelblich weiße, halbdurchsichtige Materie, welche beim Eintrocknen undurchsichtig wird und zu leuchten aufhört, in der Hitze und durch Säuren gerinnt, mit Horngeruch verbrennt und einen schwach ammoniakalischen Rückstand läßt; nach Todd **) ist sie ursprünglich körnig und zwischen eine Verbreitung von Nervenfäden gelagert; nach Carradori ***) hat sie einen Knoblauchgeruch. — Dunkle Leuchtkäfer, der Einwirkung des elektrischen Stroms einer Elektrisirmaschine ausgesetzt, erlitten keine bemerkbare Veränderung. Ein starker Entladungsschlag einer Leidner Flasche oder mehrere wiederholte brachten eben so wenig Leuchten hervor. Dagegen wurde ein lebendiger dunkler Leuchtkäfer in dem Volta'schen Strom einer geschlossenen Säule schwach leuchtend. Das Thier wurde mit einigen Tropfen Wasser zwischen zwei Platindrähten in die Kette gebracht. Im Augenblick des Schließens derselben begann das Leuchten und hielt an, so lange die Schließung dauerte. Berühren mit nur Einem Poldrahte war ohne Wirkung; Berühren mit beiden, an welchem Theile des Körpers es sein mochte, erzeugte Leuchten. Im Augenblick der Oeffnung der Kette erlosch das Licht, und es leuchtete sogleich von Neuem, wenn man die Kette wiederum schloß. Auch nach dem Tode des Thieres bringt der Galvanismus Leuchten hervor, doch blos wenn man die Körner der Leuchtmaterie, nicht, wenn man andere Theile des Thieres in die Kette bringt, auch nicht im luftleeren Raume. — Nach Macartney ****) steigt das Thermometer in Berührung mit den leuchtenden lebenden Käfern; aber nicht in Berührung mit den abgetrennten leuchtenden Theilen des Schwanzes.

Besonders merkwürdig wegen der Großartigkeit der Erscheinung, die sie hervorbringen, sind die leuchtenden Seethiere, die in großer Menge vorhanden das oft beobachtete Leuchten des Meeres bewirken. Am auffallendsten ist die Erscheinung in den warmen Klimaten, und sie zeigt sich besonders in den dunklen Nächten, wenn das Wasser durch ein Ruder, ein Schiff oder durch sonst eine Ursache in Bewegung gesetzt wird. Die Araber nennen dies Leuchten Kandil al Bahr, d. h. Seelaterne. Ehrenberg widmete demselben auf dem rothen Meere seine besondere Aufmerksamkeit, konnte aber lange nicht herausbringen, wie das Licht hervorgebracht würde. Endlich, nachdem er Wasser mit Infusionsthierchen und Anneliden (kleines Gewürm) unter das Mikroskop gebracht hatte, bemerkte er zu

*) Gilbert's Ann. Bd. LXX. S. 265. v. Froriep's Notizen. Bd. I. S. 33.
**) v. Froriep's Notizen. Bd. XV. S. 4.
***) Gilbert's Ann. Bd. I. S. 205.
****) Gilbert's Ann. Bd. LXI. S. 115.

seinem Erstaunen, daß der Schimmer, der sie umgab, nichts sei, als eine Anzahl von Funken, die aus jedem Theile ihres Körpers, besonders aus den Anneliden, ausströmten. Diese Funken, welche schnell auf einander folgten, glichen den gewöhnlichen elektrischen, so daß Ehrenberg nicht anstand, sie dafür zu erklären. Er überzeugte sich auch, daß das Licht nicht einer in ihrem Körper vorgehenden Absonderung zuzuschreiben, sondern eine Handlung ihres Willens und zwar im gereizten Zustande sei. Wie bei dem Torpedo (Art. Fische, elektrische Bd. III. S. 207) fing die Ladung immer wieder nach einiger Ruhe an. Aus der Aehnlichkeit der Wirkung läßt sich auf die Identität der Ursachen schließen, und da die Elektricität des Torpedo nicht mehr zu bezweifeln ist, so muß man annehmen, daß die Elektricität auch die Ursache des Leuchtens bei den Infusionsthierchen und Anneliden ist. Es erklärt sich hieraus, warum das Leuchten des Meeres im bewegten Wasser am stärksten ist, und warum es auch bei gewitterhafter, stiller, warmer Luft besonders lebhaft eintritt. In den höheren Thierklassen giebt es wenige oder keine leuchtende Geschlechter; doch kommen Beispiele von leuchtendem Schweiße und Harne von Menschen vor *). Die Eier der Eidechsen leuchten **).

Todte thierische Körper werden sehr häufig leuchtend gefunden, und besonders zeichnen sich in dieser Beziehung die Fische aus. Diese leuchten in der See nur vermöge ihnen anhängender Gewürme. Wenn man sie aus der See bringt und tödtet, pflegen sie auch den ersten Abend noch nicht zu leuchten, sondern erst am zweiten Abende beginnt das Phosphoresciren, und zwar leuchtet zuerst nur der Kopf, namentlich die Augen, später erst Bauch und Schwanz. Gekochte oder eingesalzene Fische leuchten nicht, aber Besprengen mit Wasser scheint den Glanz leuchtender Fische zu erhöhen. Die Fische leuchten nur so lange, als sie feucht bleiben, und das Licht zeigt sich am schönsten an Ecken und Winkeln, z. B. an den Ohren, Kiemen rc. Hulme ***) fand, daß Heringe und Makrelen in den zwei ersten Tagen, nachdem sie vom Markte gebracht, am schönsten leuchteten und dann in 4 bis 6 Tagen allmälig ihre Leuchtkraft verloren. Im Winter währte das Leuchten, weil die Fäulniß später eintritt und mit zunehmender Fäulniß das Leuchten abnimmt, oft gegen 14 Tage. Nach Dessaignes leuchten vorzüglich die Apneurosen, Ligamente, Kapseln, Milchen, überhaupt die schleimigen Theile, nicht die muskulösen; die inneren Theile fingen erst an zu leuchten, wenn sie einige Zeit der Luft ausgesetzt waren. Es schwitzt aus den Thieren ein anfangs klarer flüssiger Schleim aus, welcher zähe und trübe und damit auch leuchtend wird. Dieser leuchtende Schleim läßt sich über die Finger verbreiten, welche selbst dadurch leuchtend werden, und kann er durch Maceration mit Wasser oder salzigen Flüssigkeiten den Fischen entzogen und so getrennt als leuchtende Flüssigkeit dargestellt werden, die es oft mehrere Tage lang bleibt, und besonders beim Rütteln eine verstärkte Phosphorescenz zeigt.

Aus allen zuverlässigen Resultaten seiner und anderer Erfahrungen über die thierische Phosphorescenz ergeben sich nach Heinrich folgende Hauptsätze:

*) Gilbert's Ann. Bd. XLIX. S. 291.
**) Schweigger's Journ. Bd. XXX. S. 233.
***) Gilbert's Ann. Bd. XII. S. 152.

a) In allen sechs Klassen des Thierreiches giebt es viele (?) Individuen, welche die Eigenschaft besitzen im Finstern zu leuchten; einige bereits im Leben, andere erst nach dem Tode, einige stärker, andere schwächer, einige länger, andere kürzer.

b) So verschieden auch die Natur dieser Individuen ist, so hält doch bei allen die Phosphorescenz in der Hauptsache denselben Gang, und es erfolgen überall unter gleichen Umständen ganz ähnliche Erscheinungen.

c) Immer geht das freiwillige Leuchten der eigentlichen Fäulniß voran, und jenes nimmt ab, wie diese wächst. Je geneigter übrigens die thierische Substanz zur Verwesung ist, desto williger stellt sich, alles übrige gleich gesetzt, die Phosphorescenz ein.

d) Der freiwillig ausbrechende Leuchtstoff, was er immer sein mag, hat seinen Sitz nicht in den festen, sondern in den flüssigen Theilen des Thieres, z. B. nicht in den Knochen und den Muskelfasern, sondern in den Feuchtigkeiten. Jene festen Theile bleiben während des Leuchtens unzersetzt.

e) Der Leuchtstoff scheint sich im Innern der thierischen Maschine zu entwickeln, in Verbindung mit einer klebrichten Feuchtigkeit auf die Außenfläche zu dringen und so in die umgebende Luft auszubrechen; ein Beweis, daß im Innern bereits eine Zersetzung vor sich geht, wenn auch für unsere Sinne noch keine Spur von Fäulniß da ist.

f) Mittelst dieser klebrigen Substanz kann man den Leuchtstoff vom thierischen Körper trennen, und anderen Materien, vorzüglich manchen Flüssigkeiten, z. B. dem Wasser, der Milch, mittheilen, wodurch diese gleichfalls auf einige Zeit leuchtend werden.

g) Der Leuchtstoff ist flüchtiger als die schleimige Substanz, mit der er verbunden ist.

h) Durch Austrocknen und gelindes Dörren phosphorischer Theile des Thieres kann man zwar ihr wirkliches Leuchten hemmen, aber die Fähigkeit hierzu erhält sich und geht mittelst einer geschickten Anfeuchtung neuerdings in Wirklichkeit über. Durch Auslaugen hingegen mit siedend heißem Wasser wird alle Fähigkeit zu leuchten vernichtet; so auch durch starke Säuren und gesättigte Salzauflösungen.

i) Feuchtigkeit, mäßige Temperatur und Zutritt der äußeren Luft haben auf diese Phosphorescenz einen entschiedenen Einfluß, und es scheint dabei ein schwacher Gährungsproceß vorzugehen. Kein thierischer Körper leuchtet in ganz trockenem Zustande, so wie kein durch Kälte erstarrter. Keiner setzt das Leuchten fort ohne alles Dasein atmosphärischer Luft, allein schon ein äußerst geringer Antheil dieser Luft ist hinreichend, den Leuchtproceß lange Zeit zu unterhalten; daher er selbst im möglichst verdünnten Raume der Luftpumpe nie ganz und gar verschwindet, und sogar unter Wasser noch lange fortdauert.

k) In keiner ganz unathembaren Luftart geht dieses Leuchten vor sich. Nur von der Schwierigkeit vollkommen reine Gase zu bereiten, scheint es herzurühren, daß das Leuchten auch in mephitischen Luftarten noch eine Zeitlang aushält, wenn es schon früher angefangen hat.

l) Bei lebendigen Thieren sowohl, als bei leuchtenden Flüssigkeiten ist die Bewegung dem Leuchten gedeihlich, manchmal sogar nothwendig, vielleicht nebst anderen Umständen auch darum, weil durch Bewegung die Berührungspunkte

zwischen der phosphorischen Substanz und der Luft vermehrt und gewechselt werden.

m) Durch niedrige Temperatur, wenn sie nur nicht unter den Gefrierpunkt des Wassers fällt, wird das freiwillige Leuchten der Dauer nach verlängert, der Intensität nach aber geschwächt; bei höherer Temperatur hingegen gewinnt das phosphorische Licht an Helle, und verliert zugleich an Dauer.

n) Bei den verschiedenen Gattungen leuchtender Thiere ergeben sich zwei auffallende Unterschiede: der eine in Hinsicht des Subjectes und seines Körperbaues, der andere in Hinsicht des Elementes, in welchem das Thier lebt und woraus es seine Nahrung zieht. Thiere nämlich von sehr zartem Körperbau, ohne eigentliche Muskelfasern und Knochen, sind zu dieser Phosphorescenz so sehr geneigt, daß man sie an ihnen schon bei Lebzeiten und vollkommener Gesundheit bemerkt, was bei kraftvollen Thieren höherer Ordnung erst nach dem Tode eintritt.

o) Nicht geringer ist der Unterschied zwischen Thieren derselben Gattung, je nachdem sie Bewohner des Meeres, der süßen Gewässer oder des festen Landes sind, indem die ersten ohne Ausnahme lebendig oder todt, und zwar mit vorzüglicher Pracht leuchten, die letzteren zwei aber höchst selten freiwillig und ohne Vergleich schwächer phosphoresciren. Es scheint daher, das Seewasser habe als Nahrungsmittel einen günstigen Einfluß auf das Leuchten, und es trage dazu bei, die Seethiere zum Phosphoresciren geschickter zu machen.

p) Durch Salz und schwache Salzauflösungen kann man das Fleisch solcher Thiere zum Leuchten bringen, die sich von freien Stücken nicht dazu bequemen wollen.

q) Beim Ueberblicke des Ganzen ergiebt sich zwischen See- und Landthieren folgende Harmonie. Unter den Seethieren leuchten am schönsten und häufigsten die zarten Mollusken und Würmer; hierauf kommen die etwas kräftigeren Schalthiere; dann die Fische und zuletzt, wie man vermuthen könnte, die warmblütigen Thiere des Meeres, ob uns wohl hierüber noch die Beobachtungen mangeln. Unter den Thieren des festen Landes kommen gleichfalls zuerst die zarten Würmer und Insecten, hierauf die Fische und Amphibien, endlich das Fleisch der warmblütigen Thiere. Die Thiere der ersten Klasse leuchten bereits lebendig, die der anderen in der Regel nie anders als nach dem Tode; in der Mittelklasse giebt es einige lebendig, andere nur todt leuchtende.

r) Bei den meisten (vielleicht bei allen) lebendig leuchtenden Thieren ist das Leuchten örtlich, und wie es scheint auch periodisch, das heißt, es schränkt sich entweder gänzlich auf einen bestimmten Theil des Körpers ein, oder es zeigt sich an gewissen Stellen vorzüglich schön, welche mit dem Lebensende verschwinden oder sich vor anderen Theilen nicht mehr auszeichnen. Bei den Würmern und Insecten des festen Landes scheint es sich vorzüglich zu gewissen Jahreszeiten oder in einer bestimmten Lebensperiode einzustellen. Dieser Umstand hat auch auf das Leuchten nach dem Tode Einfluß *).

---

*) Von den Substanzen, welche bei vielen niederen organischen Wesen, während des Lebens, jedoch nicht immer, sondern unter gewissen Umständen, leuchten sollen, handelt ausführlich Gfr. Reinh. Treviranus in: Biologie oder Philosophie der lebenden Natur. Göttingen 1802 — 1822. Bd. V. S. 82 — 116.

Sehr bekannt ist die Behauptung, daß die Augen verschiedener Thiere im Zustande der Aufregung, namentlich der Katzen, Hunde, vieler Raubthiere im Finstern leuchten sollen. Neuerdings hat man aber hieran gezweifelt und geläugnet, daß in völliger Dunkelheit ein Leuchten der Augen stattfinde, vielmehr ist man der Ansicht, daß das allerdings nicht zu bestreitende Leuchten herrühre von einer Reflexion des äußeren Lichtes von dem glänzenden Tapetum des Auges *). Voigt sagt: „Eigenes Licht strahlen sie nicht aus, und glänzen vielmehr, bei gehöriger Wendung, noch eben so nach dem Tode." Rengger hat jedoch beim Leuchten der Augen mehrerer Thiere in Süd-Amerika, unter denen manche dies Licht stärker als die Augen unserer europäischen Hausthiere zu verbreiten scheinen, Umstände wahrgenommen, die (wie Treviranus bemerkt) mit jener Annahme nicht zu vereinbaren sind. Bei einem Nachtaffen (Nyctipithecus trivirgatus) bemerkte er das Licht nur bei großer Finsterniß, und dieses hatte eine solche Stärke, daß Gegenstände, die in einer Entfernung von anderthalb Fuß vor den Augen des Affen lagen, sich vermittelst desselben unterscheiden ließen. Bei einem blinden Canis Azarae, der an einer Amaurose zu leiden schien, leuchteten die Augen nicht mehr, und bei einem anderen, dem die Krystalllinse des einen Auges verdunkelt war, gab dieses Auge dann noch am Rande der Pupille einen, doch nur schwachen Schein, wenn sich die letztere sehr erweiterte. Die Lichterscheinung hörte auch nach Durchschneidung und selbst schon nach Verletzung der Sehenerven auf; hingegen Verletzungen der Hornhaut und der Iris hatten darauf keinen Einfluß. Sie trat nur dann ein, wenn ein Eindruck auf das Gesicht oder Gehör die Aufmerksamkeit des Thieres erweckte, oder wenn ein Trieb oder eine Leidenschaft dasselbe aufregte. Es scheint hiernach im Hintergrunde des Auges jener Thiere eine Lichtentwickelung stattzufinden, die unter dem Einflusse des Nervensystems steht. Ob sie aber von der Einwirkung der Sehenerven oder von der der Ciliarnerven abhängt, darüber läßt sich aus Rengger's Beobachtungen nicht entscheiden; denn bei den Versuchen mit der Durchschneidung oder Verletzung der Sehenerven blieben gewiß auch die Ciliarnerven nicht unbeschädigt. Daß durch die glänzende Tapete des Auges die Stärke des Lichtes vermehrt wird, ist nicht zu bezweifeln. Unmöglich (?) aber ist es, daß sie in dem kleinen Auge des erwähnten Affen und in großer Finsterniß blos durch Zurückwerfung äußeren Lichtes einen anderthalb Fuß weit entfernten Gegenstand sollte erhellen können.

C. Optische Erscheinungen im Allgemeinen.

Von jedem Körper, den wir mit unserem Auge wahrnehmen, muß Licht ausgehen; man unterscheidet aber zwischen solchen Körpern, welche die Quelle des Lichtes in sich selbst haben: leuchtende Körper, und solchen, bei denen dies nicht der Fall ist: dunkle Körper, die also an sich unsichtbar sind und nur, indem Licht von anderen Körpern auf sie fällt und von ihnen zurückgeworfen in unser Auge gelangt, gesehen werden, in welchem Falle sie beleuchtete oder Licht zurückwerfende, Licht reflectirende Körper heißen.

*) Voigt, Zoologie, Stuttgart 1835. Bd. I. S. 277. Burdach, Physiologie. Bd. VI.

Das Licht, welches von einem Körper, als von seiner Quelle oder durch Zurückwerfung, ausgeht, kann, sobald es auf einen dunklen Körper auffällt, entweder durch den Körper ungehindert hindurchgehen, oder ganz zurückgeworfen, oder vollständig aufgehalten werden. Keiner dieser drei Fälle, die wir vielmehr nur als die Extreme aufzufassen haben, kommt indessen rein in der Wirklichkeit vor, sondern stets wird ein Theil in das Innere des getroffenen Körpers eindringen, ein anderer Theil wird von der Oberfläche zurückkehren und ein dritter Theil wird für das Auge verloren gehen. Im letzten Falle sagt man, daß das Licht absorbirt sei, im zweiten Falle nennt man das Licht reflectirt oder zurückgeworfen oder zurückgestrahlt. Geht das Licht durch den getroffenen Körper hindurch, d. h. durchstrahlt es denselben, so heißt der Körper durchsichtig und wird in dieser Beziehung ein Medium (Mittel) genannt. Den Gegensatz der durchsichtigen Körper bilden natürlich die undurchsichtigen, welche kein Licht durch sich hindurchlassen. Man unterscheidet mehrere Grade der Durchsichtigkeit, vom Durchschimmern, Durchscheinen, Durchleuchten u. s. f. bis zur klarsten Durchsichtigkeit, je nachdem man die Licht aussendenden Körper durch diese hindurch in mehr oder weniger deutlichen Umrissen erkennt. Ein vollkommen durchsichtiger Körper würde in Beziehung auf das Licht so gut, wie gar nicht vorhanden zu betrachten sein, er würde deshalb keinen Schatten werfen und auch unsichtbar sein.

Bewegt sich das Licht durch ein durchsichtiges Mittel, welches sich in jeder Beziehung gleich bleibt, so geht das Licht geradlinig fort und ändert seine Richtung nicht, so lange es in demselben Mittel bleibt. Von dem geradlinigen Fortgange des Lichtes kann man sich leicht überzeugen, wenn man einen leuchtenden Punkt durch mehrere kleine Löcher betrachtet, welche sich in mehreren hinter einander liegenden undurchsichtigen, zwischen dem Auge und dem leuchtenden Punkte stehenden Körpern, z. B. Bretchen von Holz, befinden. So lange diese Bretchen so gestellt sind, daß eine vom leuchtenden Punkte nach dem Auge gehende gerade Linie durch sämmtliche kleine Löcher hindurch geht, erblickt das Auge den leuchtenden Punkt, derselbe verschwindet aber alsbald, so wie eines der Bretchen eine kleine Verrückung erfährt. Ferner verschwindet ein leuchtender Punkt, welcher in der Verlängerung paralleler und in einer Ebene gespannter Seidenfäden liegt, dem Auge, welches sich in derselben Ebene befindet, erscheint aber alsbald, wenn man das Auge nur im Geringsten aus dieser Ebene verrückt. Daß das Abstecken gerader Linien mit Hülfe von sich deckenden Stangen hierauf beruht, bedarf kaum der Erwähnung. — Die Linie, in welcher die Wirkung des Lichtes eines leuchtenden Körpers sich fortpflanzt, heißt Lichtstrahl.

Ein leuchtender Punkt sendet nach jeder Richtung hin geradlinige Lichtstrahlen aus, und ein leuchtender Körper entsendet eben so von jedem seiner Punkte aus nach jeder Richtung hin unzählige geradlinige Strahlen, woher es kommt, daß man einen durchaus leuchtenden Körper, z. B. die Sonne, im Raume überall erblickt, sobald nicht ein für das Licht undurchdringlicher Körper in gerader Richtung zwischen dem leuchtenden Körper und dem Beobachter sich befindet, wie es z. B. bei den Sonnenfinsternissen ist, wo der Mond als hindernder Körper dazwischen tritt.

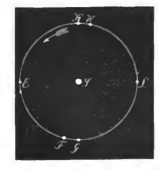
Wird ein dunkler Körper von dem Lichte eines leuchtenden Körpers beleuchtet, so hängt die Stärke dieser Beleuchtung ab von der Stärke des Lichtes des

leuchtenden Körpers, von dem Abstande beider Körper von einander und von dem Winkel, unter welchem die Lichtstrahlen auf den dunklen Körper fallen. Hiermit beschäftigt sich näher die Photometrie, weshalb wir auf diesen Artikel verweisen.

Bei keiner der auf der Erde selbst auftretenden Lichterscheinungen können wir eine Bewegung des Lichtes in der Art wahrnehmen, daß eine gewisse Zeit von dem Ausgange des Lichtes von seiner Quelle bis zu dem Augenblick vergehe, wo das Licht in unser Auge dringt. Hieraus folgt indessen noch nicht, daß das Licht sich momentan fortpflanzt, d. h. daß das Licht stets gleichzeitig an dem Orte seines Ursprungs und an jedem beliebig weit von jenem entfernten Orte sei; sondern die Geschwindigkeit des Lichtes kann für die Entfernungen auf der Erde zu bedeutend sein. Und so ist es in der That; denn das Licht durchläuft in einer Secunde ungefähr 42000 Meilen, es besitzt also eine Geschwindigkeit, welche für alle Entfernungen auf der Erde, deren Durchmesser nur 1719 Meilen beträgt, viel zu groß ist, als daß man sie an ihnen direct messen könnte. Die Kenntniß der Geschwindigkeit des Lichtes verdanken wir den Beobachtungen der Verfinsterungen der Trabanten des Jupiter. Wegen des sehr großen Durchmessers dieses Planeten und der verhältnißmäßig geringen Entfernung, in welcher die vier Monde denselben umkreisen, gehen diese Monde, mit Ausnahme des entferntesten derselben, bei jedem Umlaufe um den Hauptplaneten durch den Schatten desselben hindurch und erleiden mithin eine Verfinsterung. Da man seit Erfindung der Fernröhre diese Trabanten sorgfältig beobachtet hat, so kennt man den Augenblick, in welchem eine solche Verfinsterung eintreten und aufhören muß, und die Zwischenzeiten von einer Verfinsterung bis zur anderen vollkommen genau; diese Zwischenzeiten aber sind es eben, welche uns Gelegenheit geben, die Geschwindigkeit des Lichtes zu ermitteln.

Der erste — dem Hauptplaneten nächste — Jupitersmond tritt nach immer gleichen Zwischenzeiten, die Umlaufszeit beträgt nämlich $42^h\ 28'\ 35''$, aus dem Schatten oder in den Schatten des Jupiter J (s. beistehende Figur), und wenn man





diese Verfinsterungen, während die Erde in E — der Opposition des Jupiter — ist, beobachtet, so sieht man sie immer nach den berechneten Zwischenzeiten eintreten oder aufhören. Hier bei E nämlich bleibt die Erde mehrere Tage lang dem langsam fortrückenden Jupiter J ziemlich gleich nahe, und das Licht hat daher bei

allen Verfinsterungen gleich lange Zeit nöthig, um zu uns zu gelangen, so daß wir, obgleich der Anfang und das Ende der Verfinsterung von uns später gesehen wird, als es in Wirklichkeit ist, doch diesen Zeitverlust in der Zwischenzeit des Anfangs oder Endes der Verfinsterungen nicht wahrnehmen. Ist hingegen die Erde nach G — in den der Opposition folgenden Quadranten — gekommen, wo sie sich von F nach G vom Jupiter täglich mehr entfernt, so verspätet sich das beobachtete Ende der Verfinsterung bei jeder folgenden Verfinsterung immer mehr. Es vergrößert sich nun in der Zeit von $42^h\ 28'\ 35''$ die Entfernung der Erde vom Jupiter, da die Erde in jeder Secunde ungefähr $4^1/_7$ Meilen auf ihrer Bahn zurücklegt, um etwa 630000 Meilen; gebraucht also der erste nach der Verfinsterung von dem Monde ausgehende Lichtstrahl eine gewisse Zeit, um nach F zu gelangen, so braucht er bei der folgenden Verfinsterung etwas mehr Zeit, um nach G zu kommen, und die Zwischenzeit des Endes der Finsterniße ist daher größer. Diese Vergrößerung der Zwischenzeit beträgt ungefähr 15 Secunden und so viel Zeit verwendet also das Licht, um 630000 Meilen zu durchlaufen. Die entgegengesetzte Beobachtung findet statt, wenn die Erde sich in der entgegengesetzten Stellung, in der Gegend H K ihrer Bahn befindet, weil sie sich dann dem unterdeß langsam fortrückenden Jupiter nähert; hier sehen wir den Anfang jeder folgenden Verfinsterung etwas eher eintreten, und der Zeitunterschied ist eben so der unterdeß erfolgten Annäherung der Erde zum Monde angemessen, wie im ersteren Falle der größer werdenden Entfernung. Indem wir so zu der Kenntniß gelangt sind, daß das Licht ungefähr $\frac{630000}{15}$, d. h. 42000 Meilen in einer Secunde durchläuft, ergiebt nun jede Beobachtung eine Prüfung und eine Bestätigung dieser Angabe. Wir wissen nämlich nun, daß wir in E den Eintritt in den Schatten oder den Austritt aus dem Schatten auch nicht dann sehen, wann er stattfindet, sondern — je nach der Entfernung des Jupiter von der Erde — später; wir berechnen diese Verzögerung für die in F, G, L beobachteten Eintritte und Austritte in den und aus dem Schatten nach dem Maße der jedesmaligen Entfernung von dem Jupiter, und die Beobachtung zeigt, daß diese berechnete Zeit, wobei auf die Fortpflanzung des Lichtes Rücksicht genommen ist, wirklich die ist, welche der Wahrheit entspricht.

Eine Bestätigung der von dem dänischen Astronomen Olaus Römer im Jahre 1675 in Paris aufgefundenen Geschwindigkeit des Lichtes gewährte bald nach jener Entdeckung die von Bradley (1727) gemachte Beobachtung der Abirrung oder Aberration des Lichtes (s. Art. Abirrung des Lichtes Bd. I. S. 3). Hieraus ergab sich zugleich, daß jene Geschwindigkeit allem Lichte eigenthümlich sei und nicht etwa nur dem der Planeten zukomme, indem sie sich bei allen Fixsternen als dieselbe zeigte. Die Sterne scheinen nämlich alle vermöge der Aberration während eines Umlaufes der Erde um die Sonne Ellipsen zu beschreiben, die desto schmäler sind, je näher die Sterne der Ekliptik stehen, deren große Axen aber alle gleich, nämlich ungefähr 40 Secunden sind, weil diese durch das Verhältniß der Geschwindigkeit des Lichtes zur Geschwindigkeit der Erde bestimmt wird. Gäbe es Sterne, deren Licht langsamer zu uns käme, so würden sie eine größere Ellipse zu durchlaufen scheinen. Nun hat man zwar aus den verschiedenen Fixsternbeobachtungen kleine Unterschiede in der Aberrationsconstante gefunden, und vielleicht liegt der Grund hiervon darin, daß das Licht der verschiedenen Fix-

sterne eine verschiedene Geschwindigkeit besitzt, doch steht die Thatsache bis jetzt durchaus noch nicht so fest, daß man das letztere mit Bestimmtheit behaupten könnte.

Nach Delambre ist die Geschwindigkeit des Lichtes 10183 Mal so groß, als die mittlere Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn (= 4,1514 Meilen), wobei Beobachtungen an den Jupitersmonden zu Grunde liegen; nach v. Lindenau aus der Aberration hergeleitet 10086 Mal. Nach den neuesten Beobachtungen von Struve *) beträgt die Geschwindigkeit des Lichtes 41549 geogr. Meilen (à 7419 Meter) mit einem wahrscheinlichen Fehler von höchstens 2 geogr. Meilen. Hiernach legt das Licht den Weg von der Sonne bis zur Erde nach Delambre in 8′ 13″,2, nach v. Lindenau in 8′ 15″,7 und nach Struve in 8′ 17″,78 zurück.

In neuerer Zeit ist es Fizeau gelungen, die Geschwindigkeit des Lichtes auch durch auf der Erde angestellte Beobachtungen zu messen. — Wenn eine Scheibe, nach Art der gezahnten Räder am Umfange in gleichgroße, abwechselnd volle und ausgeschnittene, Stücke getheilt, sich in ihrer Ebene um den Mittelpunkt ihrer Figur mit großer Geschwindigkeit dreht, so ist die Zeit, während welcher ein solcher Zahn oder ein solcher Zwischenraum vor einem bestimmten Punkte vorbeigeht, sehr kurz. Man kann es dahin bringen, daß diese Zeit nur $^1/_{10000}$ oder gar nur $^1/_{100000}$ Secunde beträgt, ein Zeittheilchen, in welchem das Licht bei 40000 Meilen Geschwindigkeit im ersten Falle 4 Meilen, im anderen nur $^1/_4$ Meile zurücklegt. Geht nun durch die Abtheilungen einer solchen rotirenden Scheibe ein Lichtstrahl hindurch, der nach seinem Durchgange mittelst eines entfernten Spiegels reflectirt und zur Scheibe zurückgesandt wird, so wird er bei seiner Rückkehr zur Scheibe je nach der Rotationsgeschwindigkeit derselben entweder einen Zahn oder eine Lücke treffen, so daß er also je nach den Umständen entweder durch einen Zahn aufgehalten oder durch eine Lücke hindurchgehen wird.

Von diesem Principe ausgehend stellte nun Fizeau ein System von zwei Fernröhren F und F′ (s. beistehende Figur), das eine im Belvedere eines zu Suresnes gelegenen Hauses, das andere auf der Höhe des Montmartre, in einer



*) v. Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 91. Humboldt's geschichtliche Angaben sind nicht ganz genau; vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 538 und Bd. LXXXIX. S. 352.

Entfernung von beiläufig 8633 Metern = 26575 Par. Fuß, so auf, daß man das Fadenkreuz des einen im Brennpunkte des anderen sah. In dem einen Fernrohre F ist unter einem Winkel von 45° gegen die Axe desselben ein durchsichtiges Glas g zwischen dem Ocular und dem Brennpunkte des Objectivs angebracht, um das Licht einer Lampe L oder der Sonne seitwärts aufzufangen und nach dem Brennpunkte hinzuwerfen. In demselben Fernrohre ist nun ein Linsensystem angebracht, durch welches das von der Lichtquelle ausgehende Licht, nachdem es von dem Glase g reflectirt ist, aus dem Objective als ein Bündel paralleler Strahlen austritt, mithin sich in dem Brennpunkte des anderen Fernrohres F' wieder vereinigt. In dem Brennpunkte von F' befindet sich aber ein Planspiegel s, von welchem die Strahlen auf demselben Wege zum ersten Fernrohre zurückgehen, um in dem Brennpunkte seines Objectivs abermals vereinigt zu werden. Dieses Bild läßt sich dann mittelst des Oculars durch das Glas g hindurch betrachten. Bringt man nun an der der Lichtquelle gegenüberliegenden Seite des Fernrohres eine Oeffnung an, durch welche der Rand des gezahnten Rades R, R so in das Innere des Fernrohres hineinragt, daß der gezahnte Rand gerade durch den Brennpunkt f des Objectives geht; so ist der Apparat zur Beobachtung fertig.

Der Versuch gelang sehr gut und man sah, je nach der mehr oder weniger großen Rotationsgeschwindigkeit, den Lichtpunkt erglänzen oder sich gänzlich verdunkeln. Die erste Verfinsterung trat bei 12,6 Umläufen der mit 720 Zähnen versehenen Scheibe in einer Secunde ein; bei doppelter Geschwindigkeit erglänzte der Punkt aufs Neue; bei dreifacher Geschwindigkeit entstand eine zweite Verfinsterung; bei vierfacher Geschwindigkeit erglänzte der Punkt abermals u. s. f.

Die Breite jedes Zahnes, eben so jeder Lücke beträgt $\frac{1}{1440}$ vom Umfange des Rades; es dauert also bei 12,6 Umläufen in einer Secunde $\frac{1}{1440 \, . \, 12{,}6}$ $= \frac{1}{18144}$ Secunde, bis eine Lücke den Brennpunkt f passirt; das Licht, welches durch diese Lücke hindurchgeht, kommt aber gerade vom anderen Fernrohre zurück, während ein Zahn im Punkte f ist, folglich hat das Licht in $\frac{1}{18144}$ Secunde den Weg von 2 . 8633 = 17266 Metern zurückgelegt. Die Geschwindigkeit des Lichtes ergiebt sich mithin = 17266 $\times$ 18144 = 313285304 Metern oder $\frac{313285304}{7420}$ = 42221 geogr. Meilen in einer Secunde. 28 Beobachtungen gaben im Mittel 42506 Meilen in der Secunde *).

Im Verein mit L. Breguet hat Fizeau ferner vergleichende Versuche angestellt in Betreff der Geschwindigkeit des Lichtes in Luft und in Wasser **).

---

*) Compt. rend. T. XXIX. p. 90. Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 167. Einleitung in die höhere Optik von Beer. Braunschweig 1853. S. 3.

**) Compt. rend. T. XXX. p. 562 u. 771. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 442 u. Bd. LXXXII. S. 124.

Die Beobachtungsmethode gründete sich wie vorher auf die durch eine normale Reflexion bewirkte Rückkehr der Lichtstrahlen in sich selbst, doch — statt des gezahnten Rades — mit Benutzung eines rotirenden Spiegels, wie ihn Wheatstone (vergl. Art. Elektricität. Bd. II. S. 738) bei Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektricität angewendet hatte. Es ergab sich, daß die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser sich zu der in Luft verhält wie 3 : 4. — In ähnlicher Weise und gleichzeitig hat Foucault die Geschwindigkeit des Lichtes in Luft und durchsichtigen Mitteln überhaupt zu messen und die relative Geschwindigkeit des Lichtes in Luft und Wasser zu bestimmen gesucht. Wir begnügen uns hier mit der Bemerkung, daß seine Resultate den vorher angeführten zur Bestätigung dienen *).

Eine gleichförmige und geradlinige Bewegung des Lichtes findet nur so lange statt, als sich dasselbe ununterbrochen in demselben Medium fortpflanzt, und so lange dies Medium sich in jeder Beziehung, also z. B. auch in Betreff der Dichtigkeit, gleich bleibt. Trifft das Licht auf seinem Wege auf ein anderes Medium, oder treten in dem Medium Aenderungen ein, so erleidet es eine Aenderung in der Geschwindigkeit, welche sich in den meisten Fällen durch eine Aenderung der Richtung und der Intensität zu erkennen giebt. Ein Theil des Lichtes geht nämlich von der Grenze zweier verschiedenartiger Medien in das frühere zurück, während der andere Theil in das neue Medium eintritt.

Fällt das Licht auf einen undurchsichtigen Körper, so tritt ein Theil des Lichtes in das Innere desselben ein, verschwindet gewissermaßen und man sagt, der undurchsichtige Körper habe das Licht verschluckt oder absorbirt; ein anderer Theil des Lichtes geht in das erste Mittel, durch welches es auf den undurchsichtigen Körper gelangte, zurück und wird hierbei theils regelmäßig reflectirt, d. h. nach Richtungen zurückgeworfen, die in einer bestimmten Gesetzmäßigkeit auf einander folgen, wenn wir von einem Punkte der Oberfläche zu dem nächstfolgenden übergehen, theils zerstreut, d. h. nach allen Richtungen zurückgeworfen. Solche Körper, auf deren Oberfläche eine regelmäßige Reflexion stattfindet, heißen Spiegel, z. B. die ruhige Quecksilberfläche. Das Nähere hierüber enthält der Art. Spiegel, auch ist zu vergleichen: Cylinderspiegel, Kegelspiegel &c. — Das zerstreute Licht giebt dem Körper, von welchem es ausgeht, das Ansehen, als ob er von sich selbst Licht aussendete und macht ihn dadurch sichtbar. Wird daher von einem Körper kein Licht zerstreut, würde also alles Licht regelmäßig reflectirt, oder alles absorbirt, oder ginge alles Licht durch regelmäßige Reflexion und Absorption verloren, so würde der Körper, an welchem dies stattfände, unsichtbar sein und wir würden auf sein Vorhandensein nur dadurch schließen, daß er uns andere Gegenstände verdeckt. Je ebener und glatter die Oberfläche eines beleuchteten Gegenstandes ist, desto weniger Lichtzerstreuung findet an ihm statt.

Tritt das Licht aus dem leeren Raume in einen durchsichtigen Körper, oder geht es bei seinem Austritte aus einem Medium in ein anderes über, so ändert es seine Richtung, wenn seine anfängliche Richtung gegen die Trennungs-

*) Compt. rend. T. XXX. p. 551. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 434. Ann. de ch. et phys. T. XLI. p. 129. Beer a. a. O. S. 12.

fläche schief war, und man sagt, das Licht sei gebrochen. Wegen des Näheren verweisen wir auf die Artikel: Brechbarkeit Bd. I. S. 866, Brechung des Lichtes Bd. I. S. 872, Dioptrik Bd. II. S. 532.

Das Licht der Sonne, welches dasjenige ist, durch welches wir bei Tage die Gegenstände der Erde wahrnehmen, ist weiß. Dieses Weiß aber enthält in sich alle diejenigen Farben, welche wir in bekannter Mannichfaltigkeit wahrnehmen. Das Nähere hierüber findet sich in dem Artikel Farbe Bd. III. S. 23. Hier sei nur bemerkt, daß ein Körper weiß heißt, wenn er alle Lichtstrahlen gleichmäßig nach allen Richtungen und unverändert in ihrer Farbe zerstreut, schwarz hingegen, wenn er von dem auffallenden Lichte nichts oder doch nur sehr wenig reflectirt und nichts durchläßt.

Merkwürdige Erscheinungen bieten sich dar, wenn zwei Lichtstrahlen, welche von Einer Lichtquelle ausgehen, auf verschiedenen, sich aber unter sehr kleinen Winkeln durchschneidenden Wegen in einem Punkte zusammentreffen, indem sie dann eine eigenthümliche Einwirkung auf einander äußern, so daß durch ihr Zusammentreffen sogar Dunkelheit entstehen kann. Das Nähere hierüber enthält der Artikel Interferenz Bd. IV. S. 109, zu vergleichen ist aber auch der Artikel Farbenringe Newton's Bd. III. S. 56 und eben so der Artikel Inflexion oder Diffraction oder Beugung Bd. IV. S. 57.

Eine fernere merkwürdige optische Erscheinung bezieht sich auf Modificationen in der Intensität eines einzelnen Lichtstrahles, worüber ausführlich der Artikel Polarisation handelt. Hier erwähnen wir nur, daß sich das directe Licht leuchtender Körper und das nach allen Richtungen gleichmäßig zerstreute Licht dunkler Körper von dem gespiegelten, d. h. regelmäßig reflectirten Lichte undurchsichtiger und dem durchgelassenen durchsichtiger bei gleicher Helle und gleicher Farbe durch gewisse physikalische Eigenschaften unterscheidet, welche unter dem Namen der Polarisation zusammengefaßt werden. Der Einfluß des Magnetismus und der elektrischen Ströme auf das Licht findet ebenfalls im Artikel Polarisation seine Erledigung.

In Betreff der Schattenbildung ist schon oben auf Artikel Schatten verwiesen. Das auf die perspectivischen Verhältnisse Bezügliche enthält der Artikel Sehen.

D. Theorien zur Erklärung der optischen Erscheinungen.

Wir haben im Eingange dieses Artikels die Frage, was das Licht eigentlich sei, unerledigt gelassen und nur darauf hingewiesen, daß etwas Substantielles als Vermittler zwischen dem Auge und dem durch dasselbe wahrgenommenen entfernten Körper vorhanden sein müsse. Wie wir uns diese Vermittelung zu denken haben, darüber haben lange Zeit zwei Hypothesen: die Emanationshypothese (v. d. lat. emanare, ausfließen) oder Emissionshypothese (v. d. lat. emittere, aussenden) und die Vibrationshypothese (v. d. lat. vibrare, zittern, schwingen) oder Oscillationshypothese (v. d. lat. oscillare, sich schaukeln) oder Undulationshypothese (v. d. lat. undulatus, wellenförmig) einander gegenüber gestanden, bis endlich der Sieg sich zu Gunsten der letzteren entschieden hat.

Nach der Emanations- oder Emissionshypothese nimmt man an, daß es eine eigenthümliche Lichtmaterie gebe, und daß ein leuchtender Körper Theilchen dieser Materie nach allen Seiten hin aussende, welche dann unser Auge treffend die Empfindung des Sehens hervorbrächten. Diese Lichtmaterie muß, da sie sich sonst unserer Wahrnehmung ganz entzieht und nur ihr Stoß im Auge empfunden wird, äußerst fein und den Wirkungen der Schwere nicht unterworfen sein; wir haben sie also als imponderabel anzunehmen. Wegen der ungemeinen Geschwindigkeit des Lichtes müssen die Theilchen von einem leuchtenden Körper mit der Geschwindigkeit von etwa 42000 Meilen in einer Secunde ausgehen. Die Lichttheilchen sind sowohl den anziehenden, als den abstoßenden Kräften der Körper unterworfen, auf deren Oberfläche sie treffen; ersteres wegen der Refraction, letzteres wegen der Reflexion. Ueberdies muß man annehmen, daß sich in den durchsichtigen Körpern hinreichend große Zwischenräume befinden, um den Lichttheilchen den Durchgang zu gestatten. Von den selbst leuchtenden Körpern geht das Licht auf eine nicht näher zu erklärende Weise aus, die übrigen sichtbaren Körper senden die auf sie fallenden Lichttheilchen zurück. Dem Einwande, daß die leuchtenden Körper endlich an Masse verlieren würden, suchte man dadurch zu begegnen, daß das Licht, welches als ein im leuchtenden Körper ursprünglich gebundener, nachher frei werdender Bestandtheil angesehen werden müsse, so fein sei und im gebundenen Zustande einen so über alles Maß kleinen Raum einnehme, daß der Verlust an Masse durch das Leuchten auch nach sehr langer Dauer desselben verschwindend gering sei; überdies könne das ausgesendete Licht in demselben Maße wieder im Körper von außen ersetzt werden, in welchem es von diesem ausströme. Die Erscheinungen der verschiedenen Brechbarkeit der farbigen Strahlen bedingt eine verschiedene Anziehung der Körper gegen die verschieden gefärbten Lichtstrahlen. Die verschiedene Empfindung der Farbe muß abhängig gemacht werden von der Größe der Trägheit der Lichttheilchen, so daß die Lichttheilchen, deren Trägheit am größten ist, der rothen, jene, deren Trägheit am kleinsten ist, der violetten Farbe, und die übrigen nach Maßgabe ihrer Trägheit der orangen, gelben 2c. Farbe entsprechen. Die Erscheinung der Farbenringe Newton's zwang zu der Annahme sogenannter Anwandlungen, d. h. den Lichtstrahlen solle die Eigenschaft zukommen, in gleichen, periodisch wiederkehrenden Entfernungen bald leichter durchgelassen, bald leichter reflectirt werden zu können (vergl. Art. Farbenringe Newton's Bd. III. S. 71 ff.). Wegen der Polarisation des Lichtes (s. diesen Artikel) mußte man den Lichtstrahl als mit Seitenflächen versehen annehmen und zwar der Art, daß diese Flächen mit verschiedenen physischen Eigenschaften begabt sind. Wir sehen also, daß die Hypothese mit jeder neuen Erscheinung mit neuen Ergänzungen ausgestattet werden mußte, die allerdings sich noch rechtfertigen ließen. Die Interferenzerscheinungen (s. d. Art.) indessen sprechen entschieden gegen dieselbe.

Nach der Vibrations-, oder Oscillations- oder Undulationshypothese nimmt man an, daß das Wesen des Lichtes — analog dem Schalle — in der Fortpflanzung schwingender Bewegungen der kleinsten Theilchen eines eigenthümlichen Mittels besteht, welches Aether oder bezeichnender Lichtäther genannt wird und überall da vorhanden ist, wo sich Licht zeigt. Der Aether ist anzusehen, als ein außerordentlich feines, elastisches, alle Zwischenräume der Körper durchdringendes Fluidum, welches den ganzen Weltenraum erfüllt. Der

leuchtende Körper leitet die Schwingungen in dem ihn zunächst umgebenden Theile des Aethers ein, eben so wie eine schwingende Saite die umgebende Luft in Schwingungen versetzt; die Elasticität des Aethers ist die Ursache der regelmäßigen Fortpflanzung der erregten Aetherschwingungen nach entfernten Orten, eben so wie die Elasticität der Luft die Ursache des Fortschreitens der Schallwellen ist; das sehende Auge empfindet den Schlag der Aetherschwingungen, indem sich diese bis in sein Inneres fortpflanzen, und nach der Richtung des Schlages wird die Gegend beurtheilt, von welcher die Schwingungen ausgegangen sind, eben so wie das Ohr den Schlag der Schallschwingungen empfindet. — Das Licht ist nun natürlich nicht der Aether selbst, sondern das Resultat einer im Aether hervorgebrachten Bewegung, eben so wie der Schall nur das Resultat einer Wellenbewegung ist. Wäre der Aether im ganzen Weltenraume in Ruhe, so würde allenthalben vollständige Finsterniß herrschen. — Die Schwingungen der Aethertheilchen erfolgen nicht parallel ihrer Fortpflanzungsrichtung, sondern senkrecht auf dieselbe. Wie dies zu verstehen ist, haben wir bereits im Art. Inflexion näher angegeben, weshalb wir auf Bd. IV. S. 69 u. 70 verweisen. An der angeführten Stelle ist auch angegeben, was man unter einer Oscillation, unter der Amplitude, unter Oscillationsdauer, unter Oscillationsgeschwindigkeit, unter Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, unter einem leuchtenden Punkte, unter einem geometrischen und einem physischen, unter einem natürlichen oder unpolarisirten und einem polarisirten Lichtstrahle, endlich unter einer Aetherwelle zu denken hat. Wir führen hier im Allgemeinen nur noch an, daß die Lichtschwingungen qualitativ verschieden erscheinen, je nach der verschiedenen Dauer der Schwingungen, und quantitativ, je nach der verschiedenen Größe der Verschiebung, welche beim Schwingen stattfindet, und bemerken zugleich, daß durch die Qualität die Farbe des Lichtes bedingt wird, indem je nach der Verschiedenheit in der Schwingungsdauer das Auge einen verschiedenen Eindruck erleidet und eine verschiedene Empfindung bekommt, die sich eben als Farbe kund giebt, eben so wie die Höhe oder Tiefe eines Tones auch nur in einer Verschiedenheit der Schwingungsdauer begründet ist, ferner, daß durch die Quantität die Intensität des Lichtes bestimmt wird, eben so wie die Stärke des Schalles durch die Größe der Verschiebung der Theilchen aus der ursprünglichen Gleichgewichtslage bedingt ist.

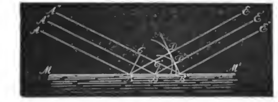
Wegen der Erklärung der Interferenzerscheinungen des Lichtes nach der Vibrationshypothese verweisen wir auf Art. Interferenz Bd. IV. S. 97 bis 100 und S. 109 ff.; wegen der Inflexion auf Art. Inflexion Bd. IV. S. 68 ff.; wegen der Polarisation auf Art. Polarisation des Lichtes. Hier möge die Erklärung der regelmäßigen Reflexion, der Brechung, der Dispersion und der Absorption noch eine Stelle einnehmen. Vorher sei aber bemerkt, daß für das Vorhandensein eines durch den Weltenraum verbreiteten Stoffes, der also wohl der Aether sein mag, astronomische Erscheinungen sprechen, wegen deren wir hier auf Artikel Kometen und zwar auf die Abschnitte von dem Halley'schen und Encke'schen Kometen verweisen. Thomson *) hat sogar eine Schätzung für die Dichte des Licht-

*) Compt. rend. T. XXXIX. p. 529.

äthers und den mechanischen Effect einer Cubikmeile Sonnenlichts aufzustellen gesucht.

Trifft eine Lichtwelle auf irgend ein Medium, in welchem die Elasticität des Aethers größer oder kleiner ist, als in dem Mittel, in welchem sich dieselbe bis dahin fortpflanzte, so entstehen zwei Wellensysteme, von denen das eine in das Mittel zurückgeht, aus welchem die Lichtwelle kam, das andere in das getroffene Mittel übergeht. Beide Wellensysteme weichen in der Richtung von der der einfallenden Welle ab, indem das eine die Erscheinungen der Reflexion, das andere die der Refraction erzeugt.

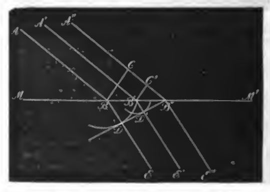
Erklärung des Grundgesetzes der Reflexion. Es seien AB, A'B', A''B'' (s. beistehende Figur) drei in einer Ebene liegende von demselben leuchtenden Punkte ausgehende Strahlen, d. h. drei zu der nämlichen sphärischen Welle gehörige Radien, welche so nahe bei einander sein mögen, daß wir sie als



parallel und den Durchschnitt der sphärischen Lichtwelle mit der Ebene, in welcher die Strahlen liegen, als eine gerade Linie BC, B'C' ansehen können. Diese drei Strahlen treffen die Trennungsfläche zweier Mittel MM' in den Punkten BB'B''. Durch die Vibration des Strahles AB wird nun das in B befindliche Aethertheilchen erschüttert, und indem dieses Aethertheilchen seine Erschütterung den benachbarten Aethertheilchen mittheilt, entsteht eine um den Punkt B als Mittelpunkt sich ausbreitende Aetherwelle. Dasselbe findet durch den Strahl A'B' bei B' und durch den Strahl A''B'' bei B'' statt. Man könnte nun meinen, daß sich von B, B' und B'' aus nach allen Richtungen hin Lichtstrahlen ausbreiteten und im Grunde ist dies auch der Fall; aber AB, A'B' und A''B'' bilden jeder für sich nur einen geometrischen und keinen physischen Lichtstrahl, während nach dem Princip von Huyghens der physische Lichtstrahl aus einer Anzahl paralleler geometrischer Strahlen gebildet wird, in denen sich die entsprechenden Theilchen in gleichen Schwingungszuständen befinden, so daß sich ihre Vibrationen gegenseitig unterstützen. Es bilden demnach die Strahlen AB, A'B' und A''B'' mit den dazwischen liegenden parallelen geometrischen Strahlen zusammen erst einen physischen Lichtstrahl und die Punkte B, B' und B'' liegen deshalb so nahe an einander, daß wir die Strecke von B bis B'' als gerade ansehen können. Die in BC, eben so in B'C' liegende Wellenoberfläche können wir nun, wie bereits bemerkt ist, als eben annehmen, und da die den ganzen Strahl constituirenden Wellen unter sich eine gleiche Geschwindigkeit haben müssen, so muß in dem Augenblicke, in welchem der Punkt C der Wellenoberfläche BC in B'' ankommt, die von dem Punkte B' ausgehende Welle sich bereits in eine Kugelfläche ausgebreitet haben, deren Radius B'D' = B''C' ist, und eben so die von dem Punkte B ausgehende in eine Kugelfläche mit dem Radius BD = B''C. Wenn wir nun von B'' aus

an die um B mit dem Radius B D = B'' C und um B' mit dem Radius B' D' = B'' C' beschriebenen Kreise Tangenten B'' D und B'' D' ziehen, so fallen diese zusammen, da die Dreiecke B B'' C und B B'' D, eben so B' B'' C' und B' B'' D' gleich bestimmt sind, folglich sind die geometrischen Strahlen B D und B' D' parallel, und da die Punkte D, D' und B'' sich in gleichem Schwingungszustande befinden, so ergeben die parallelen Strahlen B D E, B' D' E', B'' E'' wieder einen physischen Lichtstrahl im Verein mit allen den Strahlen, welche in der Strecke B B'' parallel mit ihnen in das Mittel zurückgehen, aus welchem die Lichtstrahlen A B, B'' A'' kamen. Wegen der gleichbestimmten Dreiecke B B'' C u. B B'' D ist < C B'' B = < B'' B D, d. h. die einfallenden und reflectirten Strahlen bilden mit der reflectirenden Ebene gleiche Winkel, wie es das katoptrische Grundgesetz verlangt.

Erklärung des Grundgesetzes der Refraction. Es seien wieder A B, A' B' und A'' B'' (s. beistehende Figur) drei in einer Ebene liegende von demselben leuchtenden Punkte ausgehende geometrische Strahlen, welche einen physischen Strahl constituiren und wie B C, eben so B' C' die Durchschnitte der Wellenoberflächen mit dem Strahle. In den Punkten B, B' und B'' entstehen nun durch die Erschütterung der dort befindlichen Aetherteilchen Aetherwellen mit den Mittelpunkten B, B' und B'', die sich in das andere Mittel fortpflanzen, welches durch M M' von dem ersten Mittel, aus welchem der Lichtstrahl kommt, getrennt ist. Hat dieses Mittel eine von dem ersten verschiedene materielle Beschaffenheit,



so wird der Vibrationshypothese gemäß die Dichtigkeit des Aethers in beiden Mitteln nicht nothwendig dieselbe sein; folglich werden die in diesem Mittel sich ausbreitenden Aetherwellen im Allgemeinen eine andere Geschwindigkeit, als in dem ersten Mittel haben. Gesetzt diese Geschwindigkeit sei für das zweite Mittel kleiner, als für das erste. Beschreiben wir dann um B und B' Kreise mit den Radien B D und B' D', welche sich dieser Annahme gemäß zu einander verhalten, wie B'' C zu B'' C', d. h. die neue Aetherwelle um B ist bis D fortgeschritten, während die Welle B C von C bis B'' sich ausbreitete, eben so die um B' bis D', während die erste von C' bis B'' ging; so fallen die von B'' an diese beiden Wellenflächen gezogenen Tangenten B'' D und B'' D' wieder zusammen, da das Dreieck B B'' D ähnlich ist dem Dreiecke B B'' C und eben so das Dreieck B' B'' D' ähnlich dem Dreiecke B' B'' C'; folglich sind die geometrischen Strahlen B D und B' D' wieder parallel, und da die Punkte D, D' und B'' sich in gleichem Schwingungszustande befinden,

so erhalten wir hier ebenfalls einen physischen Lichtstrahl zusammengesetzt aus den unter sich parallelen geometrischen Strahlen BE, B'E', B''E'' im Verein mit allen dazwischen liegenden parallelen Strahlen. Da nun $B''C = BB'' . \cos < BB''C$ ist, und $BD = BB'' . \cos < B''BD$, so ist:

$$\cos < BB''C : \cos < B''BD = B''C : BD, \text{ also}$$
$$\sin (90^0 - < BB''C) : \sin (90 - < B''BD) = B''C : BD, \text{ d. h.}$$

die Sinus des Einfallswinkels und Brechungswinkels stehen für je zwei Mittel in einem constanten Verhältnisse, nämlich in dem Verhältnisse der Geschwindigkeiten des Lichtes in diesen beiden Mitteln, wie es das dioptrische Grundgesetz ausspricht.

Das Phänomen der Dispersion (Farbenzerstreuung) *), worunter man die durch Brechung erzielte Zerlegung irgend eines Lichtes in nicht weiter zerlegbare Bestandtheile versteht, findet nach der Vibrationshypothese darin seine Erklärung, daß die Wellen derjenigen Strahlen, welchen eine größere Schwingungsgeschwindigkeit zukommt, bei dem Eintritte in ein brechendes Mittel in einem stärkeren Verhältnisse verkürzt werden **). Den größten Gegensatz bilden in dieser Hinsicht die rothen und violetten Strahlen. Bei den ersteren haben die Aethertheilchen die größte, bei letzteren die kleinste Schwingungsdauer. Vergleiche den Art. Zerstreuung des Lichtes.

Die Absorption, d. h. die Schwächung, welche sowohl der reflectirte als auch der gebrochene Theil eines unpolarisirten weißen Lichtbündels an der Grenze zweier Mittel erleidet, ist in Betreff des Thatsächlichen zum Theil in dem Artikel Farbe Bd. III. S. 40 ff. behandelt, da in der Mehrheit der Fälle dieselbe auch von einer merklichen Färbung eines jeden der beiden Lichttheile begleitet ist. Die Thatsache steht fest, daß sowohl bei der Reflexion, als auch bei dem Eintritte in ein neues Mittel gewisse Lichtstrahlen vorzugsweise vor den übrigen unwirksam gemacht werden; die Gesetze sind aber, um darauf eine erschöpfende Erklärung gründen zu können, noch nicht vollständig festgestellt. Nach der Emanationshypothese hat man eine ausschließliche Verwandtschaft der reflectirenden Substanz für gewisse Arten von Lichttheilchen angenommen, um dadurch zugleich die Schwächung und die Färbung des zurückgeworfenen und des gebrochenen Theiles des Lichtbündels zu erklären. Nach der Vibrationshypothese sind es rein dynamische Bedingungen, welche das auffallende weiße Licht färben, indem sich unter den Wellenbewegungen, die dasselbe ausmachen, nur die von gewisser Länge hemmen, während die übrigen bestehen bleiben. Es war namentlich v. Wrede ***), welcher die Lichtabsorption nach der Vibrationshypothese zu erklären versuchte, und dieselbe als ein Interferenzphänomen angesehen wissen wollte. Wir müssen hier auf die vortreffliche Abhandlung selbst hinweisen; bemerken indessen, daß wenn sich auch gewisse Wellenarten hemmen, so daß dadurch eine Lichtschwächung hervorgehen würde, an anderen eine Verstärkung und mithin eine Compensation eintreten könnte, daß also keine Schwächung einzutreten brauchte, wenn gleich Farbenveränderungen stattfinden.

---

*) Vergl. Art. Brechbarkeit. Bd. I. S. 866 und Farbe. Bd. III. S. 23.
**) Cauchy, memoire sur la dispersion de la lumière. Prague 1836.
***) Pogg. Ann. Bd. XXXIII. S. 353.

In neuester Zeit haben die hiermit in Zusammenhang stehenden Erscheinungen ein besonderes Interesse erregt. Das von Herschel an einer Lösung von schwefelsaurem Chinin entdeckte Phänomen (vergl. Art. Farbe Bd. III. S. 43) gab hierzu die nächste Veranlassung, und in der That mußte es zu neuen Forschungen anregen, da die Modification, welche das Licht hier erlitten hatte, eine völlig geheimnißvolle war. Herschel führte deshalb auch eine neue Bezeichnung ein und nannte die an der Oberfläche dieser Flüssigkeit stattfindende Dispersion epipolisch und ein Lichtbündel epipolisirt, wenn es durch eine Chininlösung gegangen und dadurch unfähig geworden ist, ferner eine epipolische Dispersion zu erleiden. Wir müssen uns hier begnügen einen Theil der Literatur anzugeben und das Resultat der Untersuchungen von Stokes, denn diesem gebührt das Verdienst, das Wesentlichste bei diesem Phänomen geleistet zu haben, kurz anzuführen.

Stokes ist zu der Hypothese gekommen, daß die unsichtbaren Strahlen des Spectrums jenseits des Violett die materiellen Theilchen des Mediums in solche schwingende Bewegungen versetzen möchten, wie sie den Theilchen selbstleuchtender Körper zukommen, und diese Schwingungen würden wieder im Lichtäther Anlaß zu Strahlen geben, die von geringerer Brechbarkeit als die primären und deshalb der Netzhaut vernehmlich wären. Die Flüssigkeit selbst aber müßte für die unsichtbaren und überhaupt für die am meisten brechbaren Strahlen des Spectrums fast opak sein *). Weiteres hierüber wird in diesem Werke der Artikel Zerstreuung des Lichtes bringen.

An der Ausbildung der Vibrationstheorie wird zwar thätig gearbeitet, aber doch sind noch manche Punkte zu erledigen; daß sie bisher immer zu günstigen Resultaten geführt und selbst Erscheinungen angegeben hat, welche noch nicht beobachtet waren, aber sich bestätigten, dient nur zu ihrer immer größeren Anerkennung, so daß zu erwarten steht, daß sie in allen Punkten siegreich sich bewähren wird. Um wenigstens einen Punkt anzuführen, über welchen noch verschiedene Ansichten herrschen, erwähnen wir, daß in Betreff des Zustandes, in welchem man sich den im Innern eines durchsichtigen Körpers enthaltenen Aether vorstellen muß, drei verschiedene Hypothesen noch mit einander im Streite liegen: entweder ist der Aether von den Molecülen des Körpers unzertrennlich und an sie gebunden, so daß er die Bewegung des Körpers theilt; oder der Aether ist frei und unabhängig, und er wird durch die Bewegungen des Körpers gar nicht afficirt; oder nur ein Theil des Aethers ist frei, der andere aber an die Molecüle des Körpers gebunden und dieser nimmt allein an den Bewegungen des letzteren Theil. Vergleiche hierüber den Artikel Materie.

Die Erklärung der optischen Erscheinungen nach der Vibrationstheorie führt zu den subtilsten mathematischen Untersuchungen. Als ein vorzügliches Werk in diese Theorie einzudringen ist zu empfehlen: Beer, Einleitung in die höhere Optik. Braunschweig 1853.

In historischer Beziehung ist zu bemerken, daß Newton die Emanations-

*) Phil. Transact. f. 1852 pt. II. p. 463—562. Pogg. Ann. Ergänzungsb. IV. oder Bd. XL.b S. 177—345; im Auszuge: Bd. LXXXVII. S. 480. Phil. Mag. (4) T. IV. p. 388—393. Athen. 1852. p. 948. Instit. 1853. p. 52—54. Ann. de chim. (3) T. XXXVIII. p. 491. Fechner's C.-Bl. 1853. S. 178 rc.

hypothese aufgestellt hat *), und daß Biot **) und Laplace ***) sich vorzugsweise um ihre Vervollkommnung bemüht haben. Als Schöpfer der Vibrationshypothese ist Huyghens zu betrachten ****); auch Grimaldi hatte sie im Sinne; Euler vertheidigte dieselbe *****)); aber erst in neuerer Zeit haben namentlich die Arbeiten von Young †), Fresnel ††), Cauchy †††), dann wohl auch die von Airy, Hamilton, Fraunhofer, Neumann, Schwerd und in neuester Zeit von Beer ††††) der Vibrationshypothese zum vollständigen Siege verholfen.

Eine vollständige Literatur der Optik enthält das Repertorium der Physik von Dove Bd. II. S. I bis CII; auf die Theorien des Lichtes bezieht sich namentlich Abschnitt V. S. LXXVII. In Beziehung auf die Ansichten, welche von Aristoteles bis Newton aufgestellt wurden, verweisen wir auf: Geschichte der Optik von Wilde. Berlin 1838. Bd. I. H. E.

Lichtbilder, s. Photographie.

Linie, s. Aequator.

Linie, elastische. Wird ein elastischer Körper durch die Wirkung zweier oder mehrerer Kräfte *†) gebogen, so erleiden die Längsfasern, aus denen man ihn zusammengesetzt denken kann, auf der äußeren Seite der Biegung eine Ausdehnung, auf der inneren eine Zusammendrückung, dazwischen liegt eine Faserschicht, die überall eine mittlere Spannung erleidet und welche neutrale Schicht **†) genannt wird; die Curve aber, welche die neutrale Schicht eines gebogenen elastischen Körpers annimmt, heißt elastische Linie. Die Beschaffenheit dieser elastischen Linie ist abhängig a) von der Gestalt des gebogenen Körpers, b) von seiner Elasticität und c) von der Zahl, Stärke und Anordnung

---

*) Optice. Lausannae et Genevae. 1740. Princip. phil. nat. T. I. prop. 94.

**) Traité de Phys. T. IV. Biot's Lehrb. der Experimental-Physik, übersetzt von Fechner. Leipzig 1829. Bd. IV.

***) Mém. de l'Inst. 1809 p. 300.

****) Traité de la lumière. Leide 1690.

*****) Opuscula var. arg. Berol. 1746 und Briefe an eine deutsche Princessin.

†) Lectures on nat. phil. Lond. 1807; vergl. Gilbert's Ann. Bd. XXXIX. S. 156.

††) Sur la lumière. Paris 1822; vergl. Pogg. Ann. Bd. III. S. 89 u. 303; Bd. V. S. 223 u. Bd. XII. S. 197 u. 366.

†††) Mém. de l'Acad. T. X. p. 293; sur la lumière. Prague 1836; optique mathém. Compt. rend. 1836. T. I. p. 184, 207, 364; vergl. Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 33; notes sur l'optique. Compt. rend. 1836. T. I. p. 341, 427, 455; vergl. Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 39, 48.

††††) Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 115, 268, 467 und 561; Bd. XCII. S. 402 und 522.

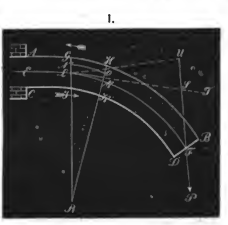
*†) Um einen freien Körper zu biegen, sind mindestens zwei Kräfte nöthig, die noch dazu gleich, entgegengesetzt sein und an entgegengesetzten Punkten des Körpers angreifen müssen. Hierhin gehört der Fall, wenn man einen senkrecht stehenden Stab dadurch biegt, daß man auf sein oberstes Ende senkrecht drückt. Weiter kann er durch drei Kräfte gebogen werden, wie z. B. wenn er an einer Stelle unterstützt und zu beiden Seiten dieser Unterstützung mit Gewichten belastet wird. Ein an einer Stelle eingeklemmter Balken kann zwar durch eine Kraft gebogen werden, aber die Einklemmung vertritt die Wirkung von wenigstens zwei Kräften.

**†) Wenn man die neutrale Schicht — wie noch allgemein geschieht — als die

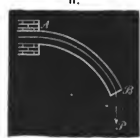
der biegenden Kräfte. So mannichfach diese Bedingungen sein können, so mannichfach ist auch die elastische Linie. Wir beschränken uns hier auf den einfachsten Fall und nehmen an, daß die Gestalt des Körpers eine prismatische sei, die Biegung desselben innerhalb seiner Elasticitätsgrenze bleibe, und die Zahl der biegenden Kräfte die kleinste, oder ihre Anordnung die einfachste sei. Um nun für die mathematische Betrachtung Raum zu gewinnen, müssen wir die Annahme vorausschicken, daß alle Querschnitte des Körpers, welche vor der Biegung senkrecht zu den Längsfasern des Körpers gedacht werden, auch nach der Biegung noch senkrecht zu denselben bleiben.

Es sei A B D C Fig. I. ein Längenschnitt eines bei A C eingespannten Körpers von der Länge A B = a, E L M F sei die Lage der neutralen Schicht, G J und H K deuten die Lage zweier auf den Längsfasern senkrechten Querschnitte an, die sich in ihrer Verlängerung in R schneiden, so daß R L = ϱ als Krümmungshalbmesser der Curve E F in L angesehen werden kann, wenn der ursprüngliche Abstand der beiden Querschnitte von einander (= l) als nur klein angenommen wird. N O deute eine Faserschicht an vom kleinen Querschnitt f und einem Abstand L N = z von der neutralen Schicht L M. Nehmen wir nun an, die Faser L M habe sich von ihrer ursprünglichen Länge l auf $l + \delta$, die Faser N O aber von l bis zu $l + \delta'$ ausgedehnt, so folgt, da $\triangle$ R L M $\backsim$ $\triangle$ R N O die Proportion : $\varrho : \varrho + z = l + \delta : l + \delta'$, woraus folgt $\delta' = \delta + \frac{l + \delta}{\varrho} z$. Bezeichnen wir die Spannung in der Faserschicht N O mit s, so wird dieselbe proportional sein mit dem Querschnitt f, dem Ausdehnungsexponenten $\frac{\delta'}{l}$ und dem

I.



II.



Faserschicht definirt, welche bei der Biegung des Körpers weder eine Verlängerung noch eine Verkürzung erfährt, so mag das mit dem Sachverhalt nicht wohl stimmen. Zunächst giebt eine einfache Betrachtung der nebenstehenden Figur II., daß die Fasern des bei A horizontal eingespannten Balkens A B, der durch eine in B angebrachte vertikale Kraft P gebogen wird, um so mehr auch der anspannenden Wirkung dieser Kraft unterliegen, je mehr sie die ursprünglich horizontale Lage bei A verlassen und der steileren bei B sich nähern, so daß die mittlere Faserschicht, welche bei A weder eine Spannung noch eine Pressung erfährt, bei B entschieden gespannt ist.

Elasticitätsmodulus E, so daß wir erhalten $s = f\frac{E\delta'}{l} = \frac{fE\delta}{l} + \frac{l+\delta}{l\varrho}fEz$; bezeichnet nun S die Gesammtspannung im Querschnitt GJ und F die Querschnittsfläche, so ist: $S = \Sigma\left(\frac{fE\delta'}{l}\right) = \Sigma\left(\frac{fE\delta}{l}\right) + \Sigma\left(\frac{l+\delta}{l\varrho}fEz\right) = \frac{E\delta}{l}\Sigma(f) + \frac{l+\delta}{l\varrho}E\Sigma(fz) = \frac{FE\delta}{l} + \frac{l+\delta}{l\varrho}E\Sigma(fz)$.

Da aber die Spannung in der neutralen Schicht die mittlere sein soll, so folgt daraus auch der Werth $S = \frac{FE\delta}{l}$, und aus den Vergleichen dieser beiden für S aufgestellten Werthe folgt

$$\Sigma(fz) = o.$$

Soll aber die Summe der Producte aller Flächentheile f des Querschnitts mit ihren Abständen z von der neutralen Schicht gleich o sein, so muß die neutrale Schicht selbst durch den Schwerpunkt des Querschnitts gehen.

Die Gesammtspannung im Querschnitt GJ

$$S = \frac{FE\delta}{l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

ist eine Wirkung der biegenden und spannenden Kraft P, die wir uns am Endpunkte F des Balkens wirkend denken wollen. Zerlegen wir die Kraft P in zwei Seitenkräfte, von denen die eine die Richtung der Tangente LT hat, die andere auf dieser senkrecht steht, so bringt die erste Seitenkraft $P\cos\beta$ (wenn $\angle PST = \beta$ gesetzt wird) jene Spannung S hervor, so daß wir setzen können: $P\cos\beta = S = \frac{FE\delta}{l}$, woraus folgt:

$$\frac{\delta}{l} = \frac{P\cos\beta}{FE}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Diese Formel besagt, daß die neutrale Schicht nicht, wie noch vielfach angenommen wird, frei von Spannung und Pressung ist, sondern daß dies nur an solchen Stellen der Fall sein kann, für welche $\cos\beta = o$ ist, d. h. für $\beta = 90^0$, in allen Punkten, für welche $\beta < 90^0$, erleiden die Fasern der neutralen Schicht eine Spannung, in denen, für welche $\beta > 90^0$, aber eine Pressung.

Da aber E gegen P immer sehr groß ist, so wird δ gegen l immer sehr klein bleiben, und wir können zur Vereinfachung der Rechnung δ gegen l verschwinden lassen. Dann werden alle Fasern oberhalb LM als gespannte und alle unterhalb LM als gedrückte erscheinen, die gespannten Fasern werden sich zusammenziehen, die gepreßten sich ausdehnen wollen, und hierdurch wird ein Bestreben entstehen, den Querschnitt GJ um L in der durch die Pfeile angegebenen Richtung zu drehen. Die Größe dieses Bestrebens wird ausgedrückt durch die Summe aller statischen Momente der einzelnen Spannungen für L als Centrum.

Für $\delta = o$ nimmt die Spannung s den Werth $\frac{fEz}{\varrho}$ an, das statische Mo-

ment dieser Spannung für L als Centrum ist $\frac{f E z^2}{\varrho}$, folglich das ganze Drehungsbestreben des Querschnitts $= \frac{E}{\varrho} \Sigma (f z^2)$. Diesem Drehungsbestreben wird das Gleichgewicht gehalten durch die Wirkung der Kraft P. Ist das Perpendikel L M auf die Richtung der Kraft P durch p bezeichnet, so ist das entgegengesetzte Drehbestreben der Kraft P für den Querschnitt G J gleich P p.

Demnach folgt:

$$\frac{E}{\varrho} \Sigma (f z^2) = P p$$

Der Ausdruck $\Sigma (f z^2)$ ist nur abhängig von der Größe und der Gestalt des Querschnitts und setzen wir für ihn der Kürze wegen das Zeichen W, so nimmt die letzte Gleichung auch folgende Gestalt an:

$$W E = P p \varrho \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Das Product W E heißt **Biegungsmoment** und die Gleichung (3) enthält das Hauptgesetz für alle Arten der elastischen Linien. **Es ist nämlich für jeden Punkt der neutralen Schicht eines gebogenen Körpers das Product aus dem statischen Momente P p der biegenden Kraft mit dem Krümmungsradius ϱ gleich dem Biegungsmomente und zwar constant, wenn der gebogene Körper homogen und prismatisch ist.**

Bei den meisten technischen Constructionen kommt es darauf an, starke Biegungen zu vermelden, dafür also zu sorgen, daß der Krümmungsradius ϱ stets sehr groß werde. Da nun aus

$$\varrho = \frac{W E}{P p}$$

folgt, daß ϱ um so größer ist, je kleiner P und p und je größer W E ist, P und p aber meist gegebene Größen sind, so muß man, um Festigkeit zu erlangen, vorzugsweise das Biegungsmoment W E sehr groß zu machen suchen. Die große Bedeutung, die in neuerer Zeit die Theorie des **Biegungsmomentes** gewonnen hat, macht es nöthig, hier näher darauf einzugehen.

Der Einfluß des Factors E springt in die Augen. E ist der Elasticitätsmodulus und giebt als solcher ein Maß für das Widerstreben der Materialien gegen eine Formveränderung an. Es versteht sich daher von selbst, daß man vorzugsweise solche Materialien wählen wird, für welche E groß ist. So ist für Stabeisen E = 29000000 Pfund, und für Holz E = 1800000 Pfund, so daß bei sonst gleichen Verhältnissen Eisen eine 16 Mal größere Festigkeit bietet. Einer näheren Untersuchung bedarf der Factor W; er ist besonders von der Vertheilung der Materie abhängig, und durch ihn ist es möglich, daß eine geringe Masse bei geschickter Vertheilung eine große Festigkeit darbietet.

Die Gleichung

$$W = \Sigma (f z^2)$$

besagt, daß W gleich der Summe aller Producte der einzelnen Flächentheile f mit dem Quadrat ihres Abstandes z von einer durch den Schwerpunkt der Fläche ge-

zogenen Horizontalen ist. W ist also um so größer, je mehr Flächentheile f vorhanden sind, d. h. je größer die Querschnittsfläche F ist, aber auch — und dieser Umstand ist wichtiger — je weiter diese Flächentheile von der durch den Schwerpunkt gelegten Horizontalen abliegen. Bei gleichen Querschnittsflächen wird von zwei Körpern derjenige das größere Biegungsmoment haben, dessen Flächentheile die größere verticale Entfernung vom Schwerpunkt des Querschnitts haben. Das kann dadurch erreicht werden, daß man die Körper in der Nähe ihrer Axe hohl macht. Dieses Resultat wird sich noch bestimmter herausstellen, wenn wir auf die besonderen Querschnittsformen näher eingehen.

Ist der Querschnitt des gebogenen Körpers so gestaltet, daß er als Summe oder Differenz mehrerer einfachen Flächen erscheint, so hat man, um den Werth W für die Gesammtfläche zu finden, zwei Fälle zu unterscheiden. Entweder geht die neutrale Schicht durch alle Schwerpunkte der einzelnen Partialflächen: dann findet man den Werth W durch entsprechende Addition oder Subtraction der einzelnen besonderen Werthe, die für die Partialflächen berechnet sind; oder die Schwerpunkte einiger oder aller Partialflächen liegen außerhalb der neutralen Schicht: dann muß man vor der Addition oder Subtraction erst eine Reduction des gefundenen Werthes in Bezug auf die Lage der neutralen Schicht vornehmen.

Es sei $W = \Sigma(fz^2)$ für eine gewisse Fläche F bekannt, wenn die neutrale Schicht durch den Schwerpunkt der Fläche geht, es soll nun $W' = \Sigma(fz'^2)$ gefunden werden, wenn sich die Entfernungen z' auf eine Horizontale beziehen sollen, die mit jener oben gedachten neutralen Schicht zwar parallel ist, aber von ihr um die Entfernung d absteht. Es ist dann $z' = z \pm d$, also

$$W' = \Sigma(fz'^2) = \Sigma[f(z \pm d)^2] = \Sigma(fz^2) \pm 2d\Sigma(fz) + d^2\Sigma(f)$$
$$= W + Fd^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

denn $\Sigma(fz^2) = W$, $\Sigma(fz) = 0$, weil jene erste neutrale Schicht, auf welche sich die Distanzen z beziehen, durch den Schwerpunkt geht; und $\Sigma(f)$ ist $= F$.

Wir wollen nun das Biegungselement W für den rechteckigen, dreieckigen, kreisförmigen und elliptischen Querschnitt entwickeln, um dann mit Hülfe der eben aufgestellten Formel (4) den Werth W für zusammengesetzte Querschnittsflächen darstellen zu können.

Es sei ABCD (s. beistehende Figur) ein rechteckiger Querschnitt von der Breite $AB = b$ und der Höhe $AD = h$, die neutrale Schicht EF gehe durch die Mitte des Rechtecks. Man theile die Hälfte ABFE durch Linien parallel mit AB in eine sehr große Anzahl gleichbreiter Streifen, so ist jeder Streifen $f = \frac{bh}{2n}$, ihre Abstände z von EF sind der Reihe nach $\frac{h}{2n}, \frac{2h}{2n}, \frac{3h}{2n}, \ldots \frac{nh}{2n}$; dasselbe kann man auch mit der Hälfte EFCD vornehmen, und es ergiebt sich dann folgende Entwickelung:



$$W = \Sigma(f z^2) = 2\left[\frac{bb}{2n}\cdot\left(\frac{h}{2n}\right)^2 + \frac{hb}{2n}\left(\frac{2h}{2n}\right)^2 + \frac{bh}{2n}\cdot\left(\frac{3h}{2n}\right)^2 + \ldots \frac{bh}{2n}\left(\frac{nh}{2n}\right)^2\right]$$

$$= \frac{bh^3}{4n^3}\left[1 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + \ldots + n^2\right] = \frac{bh^3}{4n^3}\cdot\frac{n^3 {}^{*)}}{3} = \frac{bh^3}{12}.$$

Für den rechteckigen Querschnitt ist also:

$$W = \frac{bh^3}{12} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

Diese Formel zeigt, daß der Widerstand rechteckiger Balken gegen Einbiegung proportional ihrer Breite und der dritten Potenz ihrer Höhe ist, daß es also von großem Vortheil ist, solche Balken auf die sogenannte hohe Kante zu stellen.

Aufgabe 1. Man hat einen rechteckigen Balken, der im Querschnitt 4″ breit und 9″ hoch ist, man legt ihn einmal so, daß die größere Dimension 9″ horizontal liegt, das zweite Mal aber so, daß dieselbe senkrecht steht, wie viel Mal ist im zweiten Falle sein Widerstand gegen die Einbiegung größer als im ersten?

Auflösung. Im ersten Falle ist $W_1 = \frac{9\,.\,4^3}{12} = 48$; im zweiten $W_2 = \frac{4\,.\,9^3}{12} = 243$, die verlangte Zahl ist aber $\frac{W_2}{W_1} = \frac{243}{48} = 5^1/_{16}$.

Ist ABC in nebenstehender Figur der dreieckе Querschnitt des Balkens horizontal der Grundlinie $BC = b$, und die Höhe $AD = h$, so findet man zunächst W', wenn man die Abstände z' auf eine Horizontale EF bezieht, welche durch A gelegt ist. Denkt man sich das Dreieck durch Linien parallel mit BC in eine große Zahl (n) gleich breiter Streifen zerlegt, die man wohl als schmale Rechtecke behandeln kann, so sind die Flächenräume f dieser Streifen bezüglich von der Spitze an gerechnet: $\frac{bh}{n^2}, \frac{2bh}{n^2}, \frac{3bh}{n^2}, \ldots \frac{nbh}{n^2}$;

und ihre Abstände z' bezüglich $\frac{h}{n}, \frac{2h}{n}, \frac{3h}{n} \ldots \frac{nh}{n}$ und es folgt nun:

$$W' = \Sigma(f z'^2) = \frac{bh}{n^2}\cdot\left(\frac{h}{n}\right)^2 + \frac{2bh}{n^2}\left(\frac{2h}{n}\right)^2 + \frac{3bh}{n^2}\left(\frac{3h}{n}\right)^2 + \ldots \frac{nbh}{n^2}\left(\frac{nh}{n}\right)^2$$

$$= \frac{bh^3}{n^4}\left[1 + 2^3 + 3^3 + \ldots + n^3\right] = \frac{bh^3}{n^4}\cdot\frac{n^4}{4} = \frac{bh^3}{4},$$

denn es ist für ein großes n : $1 + 2^3 + 3^3 \ldots n^3 = \frac{n^4}{4}$.

---

*) Die Theorie der höheren arithmetischen Reihen, giebt folgende Grenzwerthe, wenn n eine sehr große Zahl bedeutet:

$$1 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + \ldots n^2 = \frac{n^3}{3}, \text{ allgemein:}$$

$$1 + 2^m + 3^m + 4^m + \ldots n^m = \frac{n^{m+1}}{m+1}.$$

Die wirkliche neutrale Schicht HJ geht durch den Schwerpunkt G, so daß $AG = d = \frac{2}{3} h$ ist.

Aus (4) folgt nun

$$W = W' - Fd^2 = \frac{bh^3}{4} - \frac{bb}{2} \cdot \left(\frac{2h}{3}\right)^2 = \frac{bh^3}{4} - \frac{2bh^3}{9} = \frac{bh^3}{36}.$$

Für den dreieckigen Querschnitt ist also:

$$W = \frac{bh^3}{36} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Wenn ein im Querschnitt dreieckiger Balken mit einem rechteckigen von sonst gleichen Dimensionen verglichen wird, so ergiebt sich seine Widerstandsfähigkeit dreimal kleiner als bei diesem, obwohl sein Querschnitt nur zweimal kleiner ist. Rechteckige Balken sind also vortheilhafter.



Giebt nebenstehende Figur einen kreisförmigen Querschnitt an zum Radius $AC = r$, und liegt die neutrale Schicht in AB, so kann man den Viertelskreisbogen AD in eine sehr große Anzahl (n) gleiche Theile theilen und durch die Theilpunkte Parallelen mit AB ziehen. Die dadurch entstehenden Streifen haben bezüglich, von AB angefangen, die Länge: $2r\cos\frac{R}{n}$, $2r\cos\frac{2R}{n}$, $2r\cos\frac{3R}{n}$, ..., $2r\cos\frac{nR}{n}$, dagegen Breiten, die ihren Längen proportional sind: $\frac{r\pi}{2n}\cos\frac{R}{n}$, $\frac{r\pi}{2n}\cos\frac{2R}{n}$ u. s. f., behandeln wir ihre Flächen als Rechtecke, so sind dieselben bezüglich $\frac{r^2\pi}{n}\left(\cos\frac{R}{n}\right)^2$, $\frac{r^2\pi}{n}\left(\cos\frac{2R}{n}\right)^2$, $\frac{r^2\pi}{n}\left(\cos\frac{3R}{n}\right)^2$, ... $\frac{r^2\pi}{n}\left(\cos\frac{nR}{n}\right)^2$. Die Abstände z dieser Flächen von AB sind bezüglich $r\sin\frac{R}{n}$, $r\sin\frac{2R}{n}$, $r\sin\frac{3R}{n}$, ...$r\sin\frac{nR}{n}$. Da dasselbe Verfahren mit dem Halbkreis unterhalb AB eingeschlagen werden kann, so ergiebt sich:

$$W = 2\left[\frac{r^2\pi}{n}\cos\frac{R^2}{n} \cdot r^2\sin\frac{R^2}{n} + \frac{r^2\pi}{n}\cos\frac{2R^2}{n} \cdot r^2\sin\frac{2R^2}{n}\right.$$
$$\left. + \frac{r^2\pi}{n}\cos\frac{3R^2}{n} \cdot r^2\sin\frac{3R^2}{n} \ldots\ldots + \frac{r^2\pi}{n}\cos\frac{nR^2}{n} \cdot r^2\sin\frac{nR^2}{n}\right]$$
$$= \frac{2r^4\pi}{n}\left[\cos\frac{R^2}{n}\sin\frac{R^2}{n} + \cos\frac{2R^2}{n}\sin\frac{2R^2}{n} + \cos\frac{3R^2}{n}\sin\frac{3R^2}{n} + \ldots\right.$$
$$\left. + \cos\frac{nR^2}{n}\sin\frac{nR^2}{n}\right].$$

Da nun $\sin\alpha\cos\alpha = \frac{1}{2}\sin 2\alpha$, ferner aber $\sin\alpha^2 = \frac{1-\cos 2\alpha}{2}$ ist, und wir das Summationszeichen Σ auf alle Werthe für m von 1 bis n beziehen, so folgt:

$$W = \frac{r^4\pi}{2n}\Sigma\left[\left(\sin\frac{2mR}{n}\right)^2\right] = \frac{r^4\pi}{4n}\Sigma\left[1-\cos\frac{4mR}{n}\right]$$
$$= \frac{r^4\pi}{4n}\Sigma(1) - \frac{r^4\pi}{4n}\Sigma\left(\cos\frac{4mR}{n}\right).$$

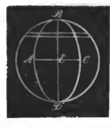
Nun ist $\Sigma(1) = n$, und $\Sigma\left(\cos\frac{4mR}{n}\right) = o$, weil für $m = 1, 2, 3 \ldots n$, der Winkel der Reihe nach alle 4 Quadranten durchläuft, und für jeden positiven Werth jedesmal auch ein entsprechender negativer sich findet. Demnach ist für den kreisförmigen Querschnitt

$$W = \frac{r^4\pi}{4} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

Aufgabe 2. Wie verhält sich bei sonst gleichen Verhältnissen und gleichen Querschnitten die Widerstandsfähigkeit eines quadratischen Balkens zu der eines kreisförmigen?

Auflösung. Für den quadratischen Balken ist, wenn s die Seite bezeichnet:

$W_1 = \frac{s^4}{12}$, und für den kreisförmigen: $W_2 = \frac{r^4\pi}{4}$. Da nun $r^2\pi = s^2$ ist, so folgt $\frac{W_1}{W_2} = \frac{s^4}{12} : \frac{r^4\pi}{4} = \frac{r^4\pi^2}{3r^4\pi} = \frac{\pi}{3} = 1{,}047$. Der Widerstand des quadratischen Balkens gegen Einbiegung ist also etwas größer als der des cylindrischen.



Bezeichnet A B C D in nebenstehender Figur einen elliptischen Querschnitt mit der halben horizontalen Axe A C = a und der halben senkrechten Axe B E = b, und beschreibt man mit B E einen Kreis und zieht durch Kreis und Ellipse eine Menge horizontaler Linien, so werden sich die Kreisstreifen zu den Streifen der Ellipse verhalten wie b : a, und eben so müssen sich die entsprechenden Werthe für W verhalten. Demnach ist für die Ellipse:

$$W = \frac{ab^3\pi}{4} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8).$$

Aufgabe 3. Ein elliptischer Balken hat mit einem cylindrischen gleichen Querschnitt und sonst gleiche Verhältnisse; bei ersterem ist die senkrechte Axe des Querschnitts zweimal so groß als die horizontale. Wie verhalten sich die Widerstandsfähigkeiten beider Balken?

Auflösung. Für den ersten ist $W_1 = \frac{ab^3\pi}{4} = \frac{8a^4\pi}{4} = 2a^4\pi$,

da $b = 2a$ ist; für den zweiten $W_2 = \frac{r^4 \pi}{4}$; da nun $r^2 \pi = a b \pi = 2 a^2 \pi$ ist, so ist auch $W_2 = a^4 \pi$; folglich $\frac{W_1}{W_2} = 2$. Die Widerstandsfähigkeit gegen Einbiegung ist also bei dem elliptischen Balken doppelt so groß als bei dem cylindrischen.

I.



Bezeichnet ABCD in nebenstehender Fig. I. den Querschnitt eines hohlen parallelepipedischen Balkens, der als Differenz zweier mit ihren Schwerpunkten zusammenfallenden Rechtecke von den Dimensionen b, h und b′, h′ angesehen werden kann, so findet man das Biegungselement durch Subtraction der entsprechenden Werthe aus beiden Rechtecken.

Demnach ist hier

$$W = \frac{b h^3 - b' h'^3}{12} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9).$$

Aufgabe 4. Ein hohler parallelepipedischer Balken ist 1′ breit und 1′ 8″ hoch, die Höhlung ist 8″ breit und 1′ hoch. Wie vielmal ist sein Biegungsmoment größer, als wenn dieselbe Masse zu einem gleichlangen quadratischen Balken geformt wäre?

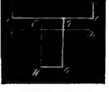
Auflösung. Da $b = 1'$, $h = \frac{5}{3}'$, $b' = \frac{2}{3}'$, $h' = 1$, so folgt: $W_1 = \frac{107}{12 \cdot 27}$. Der Querschnitt des Balkens ist $b h - b' h' = 1$ Quadratfuß; gehörte dieselbe einem quadratischen Balken an, so wäre $W_2 = \frac{1}{12}$. Demnach ist $\frac{W_1}{W_2} = \frac{107}{27} = 3 \frac{26}{27}$. Die Widerstandsfähigkeit des kastenförmigen Körpers wäre also fast 4 Mal so groß als die des massiven.

Für eine hohle Röhre mit den Radien r und r′ ist eben so:

$$W = \frac{(r^4 - r'^4) \pi}{4} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10).$$

Kann man den Balken nicht hohl machen, so läßt sich sein Biegungsmoment vergrößern dadurch, daß man oben oder unten Federn oder Rippen anbringt. Bezeichnet nebenstehende Fig. II. den Querschnitt eines in dieser Weise verstärkten Körpers, so muß man, um W zu bestimmen, erst die Lage der neutralen Schicht ermitteln. Es sei $AB = b$, $AD = h$, $EF = b'$ und $EH = h'$; die beiden Flächen AC und EG sind bezüglich bh und $b'h'$; ihre Schwerpunkte haben von einander die Entfernung $\frac{h + h'}{2}$, und

II.



sind ihre Entfernungen von der neutralen Schicht bezüglich d und d′, so ist

$d + d' = \frac{h + h'}{2}$ und $b\,h\,.\,d = b'h'd'$, folglich ist $d = \frac{b'h'(h + h')}{2(bh + b'h')}$,

und $d' = \frac{bh(h + h')}{2(bh + b'h')}$.

Da die Biegungselemente für beide Flächentheile auf die gemeinschaftliche neutrale Schicht JK bezogen werden müssen; so ist der Antheil für ABCD

$$= \frac{bh^3}{12} + bh\left[\frac{b'h'(h + h')}{2(bh + b'h')}\right]^2,$$

und der Antheil für EFGH

$$= \frac{b'h'^3}{12} + b'h'\left[\frac{bh(h + h')}{2(bh + b'h')}\right]^2. \quad \text{Folglich:}$$

$$W = \frac{bh^3 + b'h'^3}{12} + \frac{bhb'h'(h + h')^2}{4(bh + b'h')}.$$

Die letzte Rechnung möge zugleich dazu dienen, um das Verfahren anschaulich zu machen, durch welches man das Biegungselement W für zusammengesetzte Flächen findet. Die großartigste Anwendung der Theorie des Biegungsmomentes ist in der neueren Zeit in der Construction der schmiedeeisernen Röhrenbrücken gemacht worden, z. B. der Conway- und der Britannia-Brücke. Diese Brücken sind aus Blechstücken zusammengenietet, bilden einen hohlen parallelepipedischen Kasten, dessen Deck- und Bodenwand durch eine aus gleichem Blech construirte Zellenreihe bestehen. Vergleiche die Querschnittsform in nebenstehender Figur. Bei der Britanniabrücke enthält die Deckwand 8, die Bodenwand 6 Zellen. Um für diesen Querschnitt das Biegungselement W zu finden, so setze man AC = h, AB = b, die Blechdicke = d, die Zellenhöhe = h', so erhält man



für die beiden Seitenwände: $W_1 = \frac{dh^3}{6}$;

für die obere und untere Querwand sehr nahe: $W_2 = \frac{bdh^2}{2}$;

für die obere und untere Zellendecke sehr nahe: $W_2 = \frac{bd(h - 2h')^2}{2}$

für n Zellenscheidewände angenähert: $W_4 = \frac{nh_1d\,(h - h')^2}{4}$.

Demnach ist

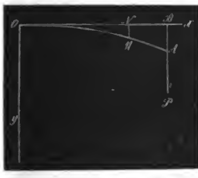
$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$$= \frac{d}{2}\left(\frac{h^3}{3} + bh^2 + b(h - 2h')^2 + \frac{nh'(h - h')^2}{2}\right) \;.\;.\;.\;.\;. \quad (11).$$

Kehren wir nun zur Erörterung der elastischen Linie zurück, so müssen wir — die prismatische Gestalt des Körpers vorausgesetzt — drei Arten elastischer Linien herausheben, die bedingt werden durch die Wirkungsweise der biegenden Kräfte. Im ersten Falle wirkt die Kraft am Ende des Körpers senkrecht gegen seine Längenrichtung; im zweiten wirken viele Kräfte, gleichmäßig über die Länge des Körpers vertheilt, senkrecht gegen dieselbe; und im dritten Falle wirken die biegenden Kräfte in der Längenrichtung des Körpers selbst. In allen drei Fällen wollen wir annehmen, der Körper werde nur wenig gebogen, so daß die Abweichung von der ursprünglich geraden Richtung nur gering sei. Durch diese Annahme wird die Untersuchung sehr vereinfacht und doch leidet die praktische Anwendbarkeit der Resultate nichts darunter.

Erster Fall. Die biegende Kraft wirkt am Ende des Körpers senkrecht gegen seine Längenrichtung.

Es sei OMA in beistehender Figur die Lage der neutralen Schicht eines gebogenen Körpers von der Länge l, der bei O horizontal festgeklemmt ist und durch eine bei A vertikal wirkende Kraft P gebogen wird. Die Curve OMA wollen wir auf die horizontale Abscissenaxe OX und die vertikale Ordinatenaxe OY beziehen. Es sei ON = x, NM = y. Da der Balken nur wenig aus der horizontalen Lage heraustreten soll, so können wir annähernd OB = OA = l setzen, also NB = l — x. Bezeichnen wir nun mit ϱ den Krümmungshalbmesser in M, so folgt nach unserer früheren Entwickelung (Gl. 3)



$$P\varrho\,(l-x) = WE \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (12).$$

Bezeichnen wir den Bogen OM mit s, so lehrt die analytische Geometrie, daß $\varrho = \dfrac{ds^3}{d^2y\,dx}$.

Für unsern Fall ist es erlaubt ds = dx zu setzen, es wird dann $\varrho = \dfrac{dx^2}{d^2y}$, und obige Gleichung nimmt nun folgende Gestalt an:

$$\frac{WE}{P}\cdot\frac{d^2y}{dx^2} = l - x.$$

Die erste Integration liefert:

$$\frac{WE}{P}\cdot\frac{dy}{dx} = lx - \tfrac{1}{2}x^2,$$

und die zweite:

$$\frac{WE}{P}\,y = \frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}.$$

Constanten sind keine hinzuzufügen, weil sowohl $\frac{dy}{dx}$ als auch y mit x = o verschwinden. Die Gleichung der elastischen Curve des ersten Falls ist demnach:

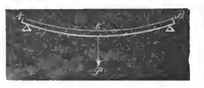
$$y = \frac{P}{6WE}(3lx^2 - x^3) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13).$$

Setzen wir die Tiefe der Abbiegung des Endpunktes AB = h, so wird y = h, wenn x = l gesetzt wird, und es folgt:

$$h = \frac{Pl^3}{3WE} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14).$$

Die Abbiegung wächst also wie die dritten Potenzen der Länge des Balkens.

Ist ein Balken AB von der Länge l in beistehender Figur an seinen Endpunkten A und B unterstützt und in der Mitte mit dem Gewicht P belastet, so werden sich die beiden Enden CA und CB eben so verhalten, als ob der Balken in C festgehalten und in A und B durch zwei aufwärts gerichtete Kräfte, je von der Stärke $\frac{1}{2}$ P gebogen würde. Man findet nun die Größe der Abbiegung h, wenn man in Gl. 14 für P den Werth $\frac{1}{2}$ P und für l den Werth $\frac{1}{2}$ l setzt, für diesen Fall ist also:



$$h = \frac{Pl^3}{48WE} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15).$$

Aufgabe 5. Eine 15′ lange schmiedeeiserne Schiene von 1″ Breite und 1″ Höhe ist an beiden Enden unterstützt und in der Mitte mit 100 Pfd. belastet, um wie viel wird sie sich durch den Einfluß dieser Belastung einbiegen?

Auflösung. Da E für Schmiedeeisen = 29000000 Pfd. ist und diese Zahl sich stets auf den Quadratzoll bezieht, so müssen alle Längen auch bei diesen Rechnungen auf Zolle reducirt werden. Es ist also l = 12 . 15 = 180″, P = 100, $W = \frac{1}{12}$ nach (5). Hieraus ergiebt sich:

$$h = \frac{100 \,.\, 180^3}{4 \,.\, 29000000} = \frac{18^3}{4 \,.\, 290} = 5{,}03''.$$ Die Einbiegung beträgt also etwas über 5 Zoll.

Hätte die Schiene bei gleichem Querschnitt nur $\frac{3}{4}$″ Breite, also $\frac{4}{3}$″ Höhe gehabt, so wäre $W = \frac{4}{27}$ geworden, und die Einbiegung hätte nur 2,83 betragen; hätte die Schiene aber $\frac{1}{2}$″ Breite und 2″ Höhe gehabt, so betrug die Einbiegung nur 1,26 Zoll.

Aufgabe 6. Wir denken uns eine schmiedeeiserne Röhrenbrücke von der Einrichtung der Britannia-Brücke (vergl. Figur S. 536) und annähernd gleichen Verhältnissen. Ihre freie Länge zwischen den Pfeilern sei 460′, ihre Höhe h = 27′, Breite b = 14$\frac{2}{3}$′, Zellenhöhe h′ = 2′, Blechstärke d = $\frac{1}{4}$″. Mit welchem Gewicht P kann man diese Brücke in der Mitte belasten, wenn die Einbiegung, die davon herrührt, einen Zoll betragen soll?

Auflösung. Aus (15) folgt $P = \frac{48 W E h}{l^3}$.

Nach (11) ist $W = \frac{d}{2}\left[\frac{h^3}{3} + b h^2 + b(h - 2h')^2 + \frac{n h'(h - h')^2}{2}\right]$.

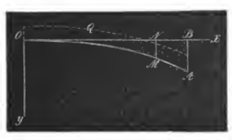
Hierin ist $d = 1/_4$, $h = 27 \cdot 12 = 324$, $b = 14^2/_3 \cdot 12 = 176$, $h' = 2 \cdot 12 = 24$, also $h - 2h' = 276$, und $h - h' = 300$, $n = 12$. Es folgt: $W = 7022520$; E ist 29000000 Pfd., h hat in der obigen Formel für P den Werth 1, l ist gleich $460 \times 12 = 5520$. Hieraus folgt:

$$P = \frac{48 \cdot 7022520 \cdot 29000000}{5520^3} = 56796 \text{ Pfd.}$$

Die Widerstandsfähigkeit der wirklichen Britannia-Brücke ist noch größer als das eben gefundene Resultat, weil einige günstige Verhältnisse hier nicht in Rechnung genommen sind. So ist z. B. die Röhre in der Mitte höher als an den Auflegepunkten, die Vernietung der Bleche ist mittelst Winkeleisen geschehen, so daß die Bleche durch hervortretende Rippen bedeutend gesteift sind, und ist auch die durchschnittliche Blechstärke größer, als wir oben angenommen haben.

Zweiter Fall. Die biegenden Kräfte sind gleichmäßig über die ganze Länge des Körpers verbreitet und wirken senkrecht gegen seine Längsrichtung. Dieser Fall tritt ein, wenn ein horizontaler Balken eine gleichmäßig über ihn verbreitete Last zu tragen hat, auch schon wenn sein eigenes Gewicht auf ihn einwirkt.

Es bezeichne OMA in beistehender Figur die Lage der neutralen Schicht eines bei O horizontal eingespannten Balkens, über dessen ganze Länge die Last Q gleichmäßig verbreitet ist. Es sei wieder $OA = OB = l$, $ON = x$, $NM = y$. Auf das Gleichgewicht im Punkte M wirkt blos die Last über MA von der Stärke $\frac{Q(l - x)}{l}$, und der Schwerpunkt dieses Theils der Last ist Angriffspunkt der Kraft $\frac{Q(l - x)}{l}$, der



Arm der Kraft für M als Centrum ist also $\frac{l - x}{2}$. Das statische Moment $P p$ (Gl. 3) hat also für unsern Fall den Werth $\frac{Q(l - x)^2}{2l}$ und die Gleichung (3) nimmt folgende Gestalt an:

$$W E = \frac{Q(l - x)^2 \varrho}{2l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16).$$

Nimmt man wieder, wie oben, für ϱ den angenäherten Werth $\frac{dx^2}{d^2y}$, so folgt:

$$WE\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{Q(l-x)^2}{2l} = Q\left(\frac{l}{2} - x + \frac{x^2}{2l}\right).$$

Zwei auf einander folgende Integrationen liefern die Resultate:

$$WE\frac{dy}{dx} = Q\left(\frac{lx}{2} - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6l}\right), \text{ und}$$

$$WEy = Q\left(\frac{lx^2}{4} - \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24l}\right); \text{ oder}$$

$$y = \frac{Qx^2}{24WEl}(6l^2 - 4lx + x^2) \; . \; . \; . \; . \; . \; (17).$$

Für $x = l$ erhalten wir den Werth der Abbiegung $AB = h$.

$$h = \frac{Ql^3}{8WE} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (18).$$

Wirkte neben der Last Q am Endpunkte A des Balkens noch eine Last P vertikal abwärts, so wäre das Maß der Abbiegung:

$$h' = \frac{l^3}{WE}\left(\frac{P}{3} + \frac{Q}{8}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (19).$$

Ist die Last Q (s. beistehende Figur) gleichmäßig über einen horizontalen Balken $AB = l$ verbreitet, der in seinen beiden Endpunkten A und B unterstützt ist, so kann man sich vorstellen, der Balken sei in seiner Mitte C festgehalten, an jedem Endpunkte wirke aber eine Kraft vertikal aufwärts mit der Stärke der Gegendrücke der Unterstützungspunkte, also mit der Stärke $\frac{Q}{2}$, dieser Kraft entgegen aber wirke die über jede Balkenhälfte gleichmäßig vertheilte Last $\frac{Q}{2}$. Man wird



demnach für diesen Fall die Abbiegung h″ des Punktes C finden, wenn man in die Formel (19) $\frac{Q}{2}$ für P, und $-\frac{Q}{2}$ für Q, und $\frac{l}{2}$ für l setzt. Es folgt:

$$h'' = \frac{l^3}{8WE}\cdot\left(\frac{Q}{6} - \frac{Q}{16}\right) = \frac{5}{8}\cdot\frac{Ql^3}{48WE} \; . \; . \; . \; . \; . \; (20).$$

Aufgabe 7. Ein 10′ langer, 8″ breiter und 1′ hoher hölzerner Balken, der an beiden Enden unterstützt ist, wird mit einer gleichmäßig über seine Länge verbreiteten Last von 10000 Pfd. belastet. Wie viel beträgt die Einbiegung in der Mitte des Balkens?

Auflösung. Es ist $W = \frac{8.12^3}{12} = 1152$, $l = 120''$, $E = 1800000$ Pfund. Also:

$$h'' = \frac{5.10000\;120^3}{8.48.8.12^2.1800000} = 0{,}11''.$$ Die Einbiegung beträgt weniger als $\frac{1}{9}$ Zoll.

Aufgabe 8. Um wie viel wird die in Aufgabe 6 gedachte eiserne Röhrenbrücke sich durch ihr eigenes Gewicht in der Mitte einsenken?

Auflösung. Zunächst muß das Gewicht der Brücke ermittelt werden. Behalten wir die bei Aufstellung der Gl. (11) eingeführten Bezeichnungen bei, so haben die beiden Seitenwände einen Querschnitt: $F_1 = 2\,d\,h$, für die vier horizontalen Deckwände ist $F_2 = 4\,b\,d$, und für die n Zellenwände ist $F_3 = n\,d\,h'$, folglich der gesammte Querschnitt $F = F_1 + F_2 + F_3 = d\,(2\,h + 4\,b + n\,h')$. Da hier $d = \frac{1}{4}''$, $h = 324''$, $b = 176''$, $h' = 24''$, $n = 12$, so folgt $F = 410$ Quadratzoll. Setzen wir das spec. Gew. des Schmiedeeisens gleich 7,788, so folgt als das Gewicht des 460' langen Brückenkörpers $Q = \frac{410\,.\,460\,.\,66\,.\,7{,}788}{144.}$ $= 673207$ Pfd. Setzen wir diesen Werth in Gl. 20, und nehmen aus der Berechnung der Aufgabe 6 noch für W, E und l die entsprechenden Werthe, so folgt:

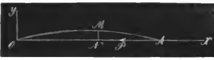
$$h'' = \frac{5\,.\,673207\,.\,5520^3}{8\,.\,48\,.\,7022520\,.\,29000000} = 7{,}2396''.$$

Die Einbiegnng beträgt also nicht ganz $7\frac{1}{4}$ Zoll.

(Es ist schon oben darauf hingedeutet, das von uns berechnete Beispiel nicht mit der wirklichen Britannia-Brücke zu verwechseln, von welcher nur einige Dimensionen und die allgemeine Construction in die Aufgaben aufgenommen sind. So beträgt bei der Britannia-Brücke das Gewicht einer einzelnen Röhre nicht, wie wir berechnet, 673207 Pfd. oder etwa 6120 Centner, sondern 34000 Centner, also mehr als das Fünffache, so daß bei geschickter Vertheilung dieser Masse die Einbiegung noch bedeutend kleiner ausfallen muß, als unser Rechnungsresultat ergiebt.)

Dritter Fall. Die biegende Kraft wirkt in der Längsrichtung des Körpers.

Es bezeichne O M A in beistehender Figur wiederum die neutrale Schicht eines prismatischen Körpers, der bei O gegen ein unbewegliches Object sich stützt und auf den bei A in der Richtung A O eine Kraft P wirkt, so daß er sich biegt. Die Curve O M A beziehen wir auf die Abscissenaxe O X und auf die Ordinatenaxe O Y, setzen $O\,N = x$, $N\,M = y$, $O\,A = a$, $O\,M\,A = l$. Der Arm der Kraft P in Bezug auf M ist jetzt $N\,M = y$, und die Gleichung (3) nimmt für diesen Fall folgende Gestalt an:



$$W\,E = P\,y\,\varrho.$$

Da die Curve sich gegen die Abscissenaxe krümmt, so ist $\varrho = -\frac{d\,s^3}{d^2y\,d\,x}$ oder angenähert $-\frac{d\,x^2}{d^2y}$, deshalb folgt:

$$W\,E\,\frac{d^2y}{d\,x^2} = -\,P\,y \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21).$$

Nehmen wir

$y = A \sin b x$, so daß A und b zunächst unbestimmt sind, so folgt

$\frac{d y^2}{d x^2} = - A b^2 \sin b x$. Werden diese beiden Werthe in (21) substituirt, so folgt:

$$b^2 = \frac{P}{W E} \text{ oder } b = \sqrt{\frac{P}{W E}}; \text{ folglich:}$$

$$y = A \sin x \sqrt{\frac{P}{W E}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (22).$$

Der Coefficient A bleibt zunächst noch unbestimmt. Für $x = a$ muß $y = o$ sein; deshalb muß:

$$a \sqrt{\frac{P}{W E}} = n \pi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

sein, wobei n irgend eine ganze Zahl bezeichnet. Ist n eine Zahl > 1, so giebt es zwischen $n = o$ und $x = a$ noch andere Werthe von x, für welche $\sin x \sqrt{\frac{P}{W E}} = o$, also auch $y = o$ ist; d. h. alsdann ist der Balken so gebogen, daß die Linie O M A mehrere Mal die Axe O X schneidet. Für den einfachsten Fall ist $n = 1$, also:

$$a \sqrt{\frac{P}{W E}} = \pi \text{ oder: } \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

$$P = \frac{W E \pi^2}{a^2}.$$

Dem größten Werth von a entspricht der kleinste Werth von P, der größte Werth von a ist aber l, folglich ist der Grenzwerth für P:

$$P' = \frac{W E \pi^2}{l^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25).$$

Erst wenn P diesen Grenzwerth überschritten hat, ist eine Einbiegung des Körpers denkbar.

Soll nun noch der in (22) unbestimmt gebliebene Coefficient A bestimmt werden, so rectificire man die Curve O M A und setze ihre Gesammtlänge gleich l.

Ist $O M = s$, so ergiebt sich unter der Voraussetzung, daß A nur klein bleibe:

$$d s = \sqrt{d x^2 + d y^2} = d x \sqrt{1 + \frac{A^2 P}{W E} \cos\left(x \sqrt{\frac{P}{W E}}\right)^2}$$

$$= d x \left[1 + \frac{A^2 P}{2 W E} \cos\left(x \sqrt{\frac{P}{W E}}\right)^2\right]$$

$$= d x \left[1 + \frac{A^2 P}{4 W E}\left(1 + \cos 2 x \sqrt{\frac{P}{W E}}\right)\right]; \text{ ferner durch Integration:}$$

$$s = x\left(1 + \frac{A^2 P}{4 W E}\right) + \frac{A^2}{8} \sqrt{\frac{P}{W E}} \sin 2 x \sqrt{\frac{P}{W E}}.$$

Für $x = a$, wird $s = l$, es ist aber auch $\sin 2a\sqrt{\frac{P}{WE}} = o$, weil $\sin a\sqrt{\frac{P}{WE}} = o$ ist; also:

$$l = a\left(1 + \frac{A^2 P}{4\,WE}\right).$$ Hieraus ergiebt sich:

$$A = 2\sqrt{\frac{(l-a)\,WE}{a\,P}} = 2\sqrt{\frac{\left(l - \pi\sqrt{\frac{WE}{P}}\right)}{\pi}\sqrt{\frac{WE}{P}}} = 2\sqrt{\frac{l}{\pi}\sqrt{\frac{WE}{P}} - \frac{WE}{P}} \quad (26)$$

Denn nach (24) ist $a = \pi\sqrt{\frac{WE}{P}}$.

Bezeichnet h die stärkste Abbiegung des Körpers, so wird $y = h$, wenn $x = \frac{a}{2}$ ist. Es folgt hierfür:

$$h = A = 2\sqrt{\frac{l}{\pi}\sqrt{\frac{WE}{P}} - \frac{WE}{P}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (27).$$

Eine einfachere Formel für h giebt folgende Betrachtung. Es sei $P = P' + p$, und p bleibe gegen P' nur klein. Es folgt nun mit Berücksichtigung von (25)

$$\frac{WE}{P} = \frac{WE}{P'+p} = \frac{WE}{P'} - \frac{WE}{P'}.\frac{p}{P'} = \frac{l^2}{\pi^2}\left(1 - \frac{p}{P'}\right);$$ und

$$\sqrt{\frac{WE}{P}} = \frac{l}{\pi}\left(1 - \frac{p}{2P'}\right).$$ Diese Werthe substituire man in (27) und es folgt:

$$h = \frac{2l}{\pi}\sqrt{\frac{p}{2P'}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (28).$$

Aufgabe 9. Wie viel kann eine 20′ hohe gußeiserne Hohlsäule, deren Radien 6″ und 5″ sind, tragen, bevor sie sich zu biegen beginnt?

Auflösung. Nach (25) ist $P' = \frac{WE\pi^2}{l^2}$. Es ist nach (10) $W = \frac{r^4 - r'^4}{4}\pi = 2108$; E ist für Gußeisen $= 17000000$; l ist $= 20 \,.\, 12 = 240$, also: $P' = \frac{2108 \,.\, 17000000 \,.\, \pi^2}{240^2} = 6140430$ Pfd.

Aufgabe 10. Nach Gerstner soll die größte Einbiegung bei Eisen $\frac{1}{480}$ der Länge nicht übersteigen. Um welchen Bruchtheil $\left(\frac{p}{P'}\right)$ kann die Tragfähigkeit P′ eines Ständers von Eisen überschritten werden, bis diese Grenze erreicht ist?

Auflösung. Setzen wir in (28) $h = \frac{l}{480}$, so folgt: $\frac{\pi}{960} = \sqrt{\frac{p}{2P'}}$,

also ist $\frac{P}{P'} = \frac{2\pi^2}{960^2} = 0{,}0000214$. Hieraus kann man abnehmen, daß, wenn die Belastung P' überschritten ist, sehr bald eine gefährliche Einbiegung erfolgen wird. W. S.

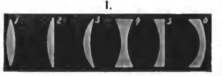
Linien, isobarometrische, s. Atmosphäre Bd. I. S. 522.
Linien, isoclinische, s. Neigung der Magnetnadel.
Linien, isodynamische, s. Magnetismus der Erde.
Linien, isogonische, s. Abweichung, magnetische.
Linien, isothermische, s. Isothermen.

Linsenglas, dioptrische Linse, sphärische Linse (lat. lens dioptrica; franz. lentille sphérique, verre dioptrique; engl. lens) heißt jede kleine Glastafel, deren eine Fläche eben und die andere ein Abschnitt einer Kugelfläche ist, oder deren beide Flächen Abschnitte von Kugelflächen sind. Gewöhnlich ist eine Linse kreisrund begrenzt, doch ist dies nicht wesentlich; jedenfalls muß aber die Kreisfläche, welche durch den Durchschnitt beider Oberflächen bestimmt wird, auf der die Mittelpunkte beider Kugeln verbindenden Geraden senkrecht stehen. Da man eine Ebene als einen kleinen Theil einer Kugeloberfläche von unendlich großem Halbmesser ansehen kann, so könnte man eine Linse auch als eine kleine Glastafel erklären, deren beide Flächen in jedem Falle Abschnitte von Kugelflächen sind.

A. Form der Linsen.

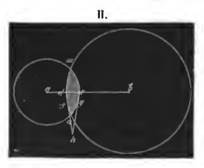
Man unterscheidet sechs Linsenformen und zwar drei convexe oder erhabene und drei concave oder hohle: convex-concav Figur 1, plan-convex Fig. 2 und concav-convex Fig. 3, ferner concav-concav Fig. 4, plan-concav Fig. 5 und convex-concav Fig. 6. Die convexen Linsen haben das Gemeinsame, daß sie von der Mitte nach dem Rande zu dünner werden, während bei den concaven Linsen das Umgekehrte der Fall ist.

I.



1) Die convex-convexe oder biconvexe oder doppeltconvexe Linse kann man sich als das gemeinschaftliche Stück zweier sich schneidenden Kugeln denken, wie es nebenstehende Fig. II. zur Anschauung bringt, in welcher das schattirte Stück m n das Profil der biconvexen Linse ist. Die Linie a b, welche die Mittelpunkte beider Kugeln verbindet, heißt die Axe der Linse; a c ist der Halbmesser, nach welchem die eine Fläche m c n, b d der Halbmesser, nach welchem die andere Fläche m d n geschliffen ist. Die beiden Halbmesser können gleich oder ungleich sein.

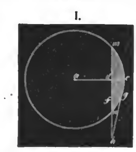
II.



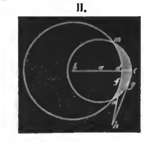
2) Die plan-convexe Linse kann man sich dadurch entstanden denken, daß von einer Kugel mittelst einer durchgelegten Ebene ein Stück abgeschnitten worden ist. Eine auf die Schnittebene senkrecht und durch den Mittelpunkt der Kugel gelegte Ebene giebt (s. in der beistehenden Fig. I.) m n das Profil dieser Linse. Die Axe ist die von dem Mittelpunkte der Kugel aus auf der Ebene senkrecht stehende Linie a d c.

3) Die concav-convexe Linse kann man ansehen als das nicht gemeinschaftliche Stück zweier sich schneidenden Kugeln. Der schattirte Theil m n in der beistehenden Fig. II. macht das Profil anschaulich. Wegen der Aehnlichkeit dieses Profils mit der Mondsichel nennt man eine solche Linse auch Lunula oder Meniskus (jenes aus dem Lat., dieses aus dem Griech. ein kleiner Mond). Die Axe ist die beide Mittelpunkte verbindende gerade Linie b a d c.

I.



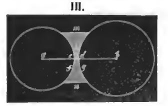
II.



4) Die concav-concave oder biconcave oder doppeltconcave Linse stellt den Raum vor zwischen zwei sich nicht treffenden Kugeln. Eine durch beide Mittelpunkte gelegte Ebene (s. beistehende Fig. III.) giebt das Profil derselben m n. Beide Kugeln können gleiche oder ungleiche Halbmesser haben. Die Axe a c d b verbindet wieder beide Mittelpunkte.

5) Die plan-concave Linse bildet den Raum zwischen einer Kugel und einer diese nicht treffenden Ebene. Das Profil m n in beistehender Fig. IV. erhält man durch eine Ebene, welche durch den Mittelpunkt der Kugel geht und auf der angegebenen Ebene senkrecht steht. Die Axe liegt in der von dem Mittelpunkte der Kugel aus auf die Ebene gefällten Senkrechten a d c.

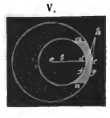
III.



IV.



V.



6) Die convex-concave Linse kann man ansehen als einen Theil des Raumes zwischen zwei Kugeln, von denen die kleinere innerhalb der größeren liegt, ohne daß die Mittelpunkte zusammenfallen. Die Axe liegt in der die Mittelpunkte verbindenden Linie a b d c (s. beistehende Fig. V.) und geht durch die Mitte

der beiden Flächen. Eine durch die Mittelpunkte beider Kugeln gelegte Ebene giebt das Profil m n.

Bei allen diesen Linsengläsern sind die Berührungsebenen an den Punkten c und d, in denen die Axe die Flächen der Linsen trifft, parallel. Daß bei den plan-convexen und plan-concaven Linsen die eine Berührungsebene mit der ebenen Fläche der Linse zusammenfällt, versteht sich von selbst. Die Berührungsebenen an anderen Punkten schneiden sich und zwar so, daß bei den convexen Linsen (s. f h und g h in den convexen Profilen) der Durchschnittspunkt von der Axe an gerechnet nach dem Rande hin liegt, während bei den concaven Linsen (s. f h und g h in den concaven Profilen) gerade das Umgekehrte der Fall ist. Hieraus folgt, daß man eine convexe Linse ansehen kann als eine Verbindung von unendlich vielen schmalen Prismen, welche den brechenden Winkel von der Axe abwenden, und eine concave Linse als eine eben solche Verbindung, nur daß die Prismen den brechenden Winkel in der Richtung von dem Rande nach der Axe hin liegen haben. Im Allgemeinen werden daher die convexen Linsen, die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Lichtstrahlen nach ihrem Durchgange durch dieselben convergenter machen, d. h. einander näher bringen oder in einem kleineren Raume sammeln, und daher führen sie auch den Namen Sammlungs- oder (lat.) Collectivgläser, im Gegensatze zu den concaven Linsen, welche aus demselben Grunde (vergl. Art. Brechung des Lichtes, Bd. I. S. 876) diese Lichtstrahlen divergenter machen, weshalb sie auch Zerstreuungsgläser genannt werden.

Man kann auch Linsen mit andern als Kugelflächen, z. B. mit elliptischen, parabolischen rc. Flächen schleifen, aber man stellt vorzugsweise nur sphärische, d. h. kugelflächige Linsen her, weil nur diese mit Leichtigkeit und Genauigkeit verfertigt werden können. Statt des Glases benutzt man auch andere durchsichtige Körper, z. B. Edelsteine, sogar mit Linsen aus Eis hat man Versuche angestellt; indessen sind dies mehr Ausnahmefälle.

B. Wirkung der Linsen.

Um die Wirkung der Linsen auf Lichtstrahlen, welche durch dieselben gehen, kennen zu lernen, betrachten wir zunächst den Durchgang der Lichtstrahlen an einer Kugel.

L'D' und L''D'' seien (s. beistehende Figur) zwei parallele Lichtstrahlen, welche in gleicher Entfernung von der mit ihnen parallelen Axe L A C B der Kugel



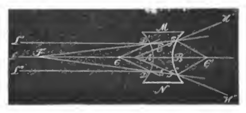
auf die convexe Fläche auffallen. Diese Strahlen gehen nicht in der Richtung L'D'E' und L''D''E'' weiter, sondern werden (vergl. Art. Brechung des Lichtes) dem Einfallslothe CD' und CD'', da die Halbmesser der Kugel auf der Berührungsebene des Einfallspunktes D' und D'' senkrecht stehen, zugebrochen; sie bekommen also die convergente Richtung D'G' und D''G'' und würden ver-

längert die Axe in einem Punkte F schneiden. Dieser Punkt ist der Vereinigungspunkt aller mit der Axe parallelen und von dieser gleich weit abstehenden Lichtstrahlen, falls diese in eine Glasmasse oder überhaupt in ein dichteres Mittel mit converer Oberfläche eintreten. Wenn das dichtere Mittel sich nicht so weit erstreckt, daß dieser Punkt F noch innerhalb desselben liegt, so erleidet der Gang der Lichtstrahlen wieder eine Veränderung beim Austritte an der Rückseite, also bei unserer Figur an den Punkten G' und G''. Ziehen wir die zugehörigen Einfallslothe C G' H' und C G'' H'', so werden die Lichtstrahlen beim Eintritte in das dünnere Mittel von denselben a b gebrochen und müssen sich verlängert auf der Axe in einem Punkte f schneiden. Es ist mithin der Punkt f der Vereinigungspunkt (Brennpunkt, focus) der mit der Axe parallel und in gleicher Entfernung von dieser auffallenden und durch eine Glaskugel hindurchgehenden Lichtstrahlen.

Denken wir uns einen leuchtenden Punkt in f, so ergiebt sich sofort, da die Brechungsverhältnisse beim Eintritte in die Kugel und beim Austritte aus der Kugel dieselben sind, wie vorher, daß die in den Punkten G' und G'' divergirend mit der Axe auffallenden Strahlen nach ihrem Austritte bei D' und D'' mit der Axe parallel sein müssen. Anders ist es aber, wenn die von der Axe ausgehenden divergirenden Strahlen andere Punkte als gerade G' und G'' treffen. Würden dergleichen divergirende Strahlen unter gleichen Winkeln bei D' und D'' auf die Kugel treffen, so ergiebt eine einfache Betrachtung der eben gebrauchten Figur, daß dann ihr Brennpunkt von der Kugel weiter abstehen müßte, als der Brennpunkt f der parallelen Strahlen L' D' und L'' D'', und würden also umgekehrt von diesem weiter abstehenden Brennpunkte divergirende Strahlen so auf die Kugel fallen, daß sie bei D' und D'' austreten müßten, so würden diese nach dem Austritte convergirend zur Axe werden, und zwar um so stärker, je weiter der Punkt, von welchem sie ausgehen, von der Kugel entfernt wäre.

In derselben Weise ergiebt sich, daß in den Punkten D' und D'' zur Axe convergirend auffallende Strahlen einen näher als f an der Kugel liegenden Vereinigungs- oder Brennpunkt haben werden, ja daß bei immer größer werdender Convergenz dieser Punkt selbst in die Kugel fallen kann. Folglich werden Strahlen, welche von einem näher als f liegenden Punkte auf die Kugel divergent auffallen, die bei D' und D'' zum Austritte gelangen, umgekehrt divergent zur Axe aus der Kugel austreten.

Aus dieser Betrachtung erfahren wir im Allgemeinen den Gang der Lichtstrahlen, welche in die convexe Fläche eines dichteren oder in die concave Fläche eines dünneren Mittels eintreten. Wollen wir dasselbe erfahren beim Eintritte in die concave Fläche eines dichteren oder in die convexe Fläche eines dünneren Mediums, so müssen wir die folgende Figur ins Auge fassen.



Es sei M N (s. beistehende Figur) das dichtere Mittel; die Mittelpunkte der Kugeln, zu welchen die concaven Flächen gehören würden, seien C und C'; die Axe ist alsdann L C A B C'. Fallen in D' und D'' in gleichen Entfernungen von der Axe

die mit derselben parallelen Strahlen L′D′ und L″D″ auf, so gehen diese im dichteren Mittel nicht in den Richtungen D′E′ und D″E″ weiter, sondern werden den Einfallslothen CD′ und CD″ zugebrochen, also divergent, so daß sie rückwärts verlängert in F die Axe schneiden würden. Da diese Strahlen nun bei G′ und G″ in das dünnere Mittel übergehen, so werden sie von den Einfallslothen C′G′ und C″G″ abgebrochen, also noch divergenter, so daß ihr scheinbarer Vereinigungspunkt, d. h. der Punkt, aus welchem sie zu kommen scheinen, den man auch negativen Brennpunkt nennt, näher an der Eintrittsfläche liegen muß, als F, nämlich zwischen C und A. Mit der Axe parallele und in gleicher Entfernung von dieser auf ein concaves dichteres Mittel auffallende Strahlen werden also in dem dichteren Mittel divergent, und aus einem dichteren Mittel in ein convexes dünneres Mittel übergehende divergirende Strahlen noch mehr divergirend.

Eine nähere Betrachtung der Figur zeigt uns ferner, daß von dem Punkte C ausgehende, von der Axe also divergirende, Strahlen im dichteren Mittel in derselben Richtung weiter gehen würden; daß von einem weiter als C abstehenden Punkte ausgehende divergente Strahlen noch mehr divergent werden, also aus einem näher gelegenen Punkte zu kommen scheinen, und daß divergirende Strahlen, welche von einem näher als C liegenden Punkte ausgehen, weniger divergent werden, also aus einem weiter abstehenden Punkte zu kommen scheinen.

Denken wir uns endlich in G′ und G″ die Strahlen H′G′ und H″G″ so convergirend auffallen, daß sie bei D′ und D″ auf der entgegengesetzten Seite austreten müssen, so werden sie nach dem Austritte parallel; überhaupt aber ergiebt sich, daß convergent auffallende Strahlen in dem dichteren concaven Mittel weniger divergent werden.

Bis jetzt haben wir Strahlen betrachtet, welche in gleicher Entfernung von der Axe auffallen, entweder mit derselben parallel, oder zu dieser unter gleichem Winkel divergirend oder convergirend. Lichtstrahlen aber, welche in verschiedenen Entfernungen von der Axe parallel auffallen, müssen, wie aus der Betrachtung der ersten der beiden letzten Figuren sich ergiebt, nach dem Durchgange durch die Kugel sich in andern Punkten schneiden, als in gleicher Entfernung auffallende; lassen wir daher eine unendliche Menge paralleler Strahlen durch eine Kugel hindurch gehen, so erhalten wir beim Auffangen der aus der Kugel ausgetretenen Strahlen mittelst einer in der Axe liegenden Ebene Brennlinien (vergl. Art. Brennlinie Bd. I. S. 909) und zwar zwei Curven, die in einer Spitze zusammentreffen, welche in dem Brennpunkte f liegt *). Daß auch durch Strahlen, welche von einem Punkte ausgehen und divergent die Kugel treffen, oder welche nach einem Punkte convergiren, Brennlinien gebildet werden müssen, ist nun an sich klar.

Im Allgemeinen wird man die Wirkung der Linsen nach der vorstehenden Auseinandersetzung beurtheilen können, da es sich bei ihnen um den Eintritt der

---

*) Am schönsten ist der Erfolg, wenn parallele Lichtstrahlen auf eine Kugel fallen, durch Zeichnung dargestellt in dem leider nicht beendeten Werke: Darstellende Optik von Engel und Schellbach. Taf. 14. Auch auf die übrigen Tafeln glauben wir aufmerksam machen zu müssen, da das, was hier durch Zeichnung geleistet worden ist, die Einsicht in die Wirkung der Linsen, auf die es hier zunächst ankommt, wesentlich erleichtert.

Lichtstrahlen aus einem dünneren Mittel in ein dichteres mit convexer oder concaver Oberfläche und um den Austritt derselben aus einem dichteren Mittel von convexer oder concaver Oberfläche in ein dünneres handelt. Wollten wir hier genau die Aufgabe lösen, für gegebene Halbmesser der Krümmungen und gegebene Lage der zugehörigen Mittelpunkte den Durchschnittspunkt eines durch eine Linse hindurchgehenden Lichtstrahles mit der Axe zu bestimmen, wenn wir den Ausgangspunkt des Strahles von der Axe aus und den Einfallspunkt desselben auf der Vorderfläche der Linse kennen; so würde dies zu schwierigen und verwickelten Rechnungen führen. Da es jedoch bei der Anwendung der Linsen namentlich darauf ankommt, von den Gegenständen, welche Licht nach denselben senden, möglichst deutliche Bilder zu gewinnen, also die Linsen so einzurichten, daß die durchgehenden Strahlen nicht Brennlinien, sondern Brennpunkte geben, oder daß die von einem Punkte ausgegangenen Lichtstrahlen sich wieder möglichst in einem Punkte vereinigen oder aus einem Punkte zu kommen scheinen; so können wir von der vollen Strenge nachlassen und die Aufgabe dadurch vereinfachen, daß wir voraussetzen, die Kugelflächen der Linse bildeten verhältnißmäßig kleine Stücke von möglichst großen Kugeln. Unter dieser Voraussetzung bilden die von einem Punkte der Axe divergirend ausgehenden Strahlen nur kleine Winkel mit der Axe, und wegen der geringen Krümmung der Linsenflächen kann man die zwischen dem Einfallspunkte und der Axe liegenden Bogen als gerade auf der Axe senkrecht stehende Linien ansehen.

a) Wirkung der Linsen, wenn das Licht von **einem** Punkte auf der Axe ausgeht.

Es sei nun ABCD (s. beistehende Figur) das Profil einer biconvexen Linse, deren Mittelpunkte, E für die Fläche CBD und G für die Fläche DAC, in der Ebene des Papieres liegen, so daß EABG die Axe der Linse vorstellt, welche mithin in A und B auf den Flächen derselben senkrecht steht. Von F gehe ein Lichtstrahl aus und treffe die Vorderfläche CAD in L, so ist GL das Einfallsloth und der Strahl geht weniger divergent zur Axe weiter in der Richtung LN. Bei N tritt der Strahl aus der Linse heraus, das Einfallsloth ist jetzt EN und da nun der Winkel im dünneren Mittel größer wird als $< LNE$ im Glase, so wird der austretende Strahl noch weniger divergent und trifft die Axe z. B. in H. Setzen wir nun $AG = R$, $BE = r$, und da die Linse nicht sehr dick sein kann, $FA = FB = a$ und $AH = BH = a_1$; so wird, wenn das Brechungsverhältniß $= n : 1$ ist, sein:

$$\sin MLF : \sin NLG = n : 1, \text{ oder } < MLF : < NLG = n : 1 \quad \ldots \quad (1)$$

da die Winkel klein sein sollen. Eben so erhalten wir:

$$< ONH : < LNE = n : 1 \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

und aus diesen beiden Proportionen (1) und (2)

$$(< MLF + < ONH) : (< NLG + < LNE) = n : 1 \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Da nun $< MLF = < F + < G$ und $< ONH = < E + < H$ ist, so ist $< MLF + < ONH = < F + < G + < E + < H$; ferner ist $< NLG + < LNE = < E + < G$, folglich wird die Proportion (3) jetzt lauten:

$$(< F + < G + < E + < H) : (< E + < G) = n : 1$$

und folglich ist:

$$(< F + < H) : (< E + < G) = n - 1 : 1 \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

woraus sich ergiebt, daß

$$< F + < H = (n - 1)(< E + < G) \quad . \quad . \quad . \quad (5).$$

Nun ist $\operatorname{tg} F = \frac{AL}{FA}$; $\operatorname{tg} H = \frac{BN}{BH}$; $\operatorname{tg} E = \frac{BN}{EB}$; $\operatorname{tg} G = \frac{AL}{AG}$; da aber die Winkel sehr klein sind, so wird man annehmen können, daß die Winkel selbst diese Werthe haben, und mithin würde sein, wenn wir für die Divisoren ihre oben angenommene Bezeichnung setzen:

$$< F = \frac{AL}{a}; < H = \frac{BN}{a'}; < E = \frac{BN}{r}; < G = \frac{AL}{R}.$$

Die Gleichung (5) lautet daher jetzt:

$$\frac{AL}{a} + \frac{BN}{a'} = (n - 1)\left(\frac{BN}{r} + \frac{AL}{R}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (6).$$

Wegen der, nach der Annahme nothwendig geringen Dicke der Linse, und da LN einen sehr kleinen Winkel mit der Axe bilden wird, kann man $AL = BN$ annehmen, und die Gleichung (6) wird daher:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = (n - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (7).$$

Ganz in gleicher Weise, wie wir diese für biconvexe Linsen geltende Bedingungsgleichung gefunden haben, können wir die Bedingungsgleichung für biconcave Linsen entwickeln, oder auch unmittelbar ableiten, wenn wir die Halbmesser in entgegengesetzter Beziehung, also negativ nehmen, und erhalten dann:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = -(n - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (8).$$

Da in diesen Gleichungen AL und BN verschwunden sind, so heißt dies, daß alle von demselben leuchtenden Punkte auf die Linse fallenden Strahlen sich in einem einzigen Punkte vereinigen oder, falls a' negativ wird, aus einem Punkte zu kommen scheinen, wobei indessen zu beachten ist, daß unsere Formel nur unter gewissen Bedingungen gefunden worden ist, und daß, wenn diese nicht vollständig erfüllt sind, auch keine vollständige Vereinigung in einem Punkte stattfinden kann.

Ist die Entfernung a des leuchtenden Punktes unendlich groß, sind also alle auf die Linse auffallenden Strahlen so gut wie der Axe parallel, so ist $\frac{1}{a} = 0$, und wir erhalten also in diesem Falle

für biconvexe Linsen $\quad \frac{1}{a'} = (n - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (9)$

und für biconcave Linsen $\frac{1}{a'} = -(n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) \ldots (10).$

Die Entfernung, in welcher sich in diesem Falle die Strahlen vereinigen oder zu vereinigen scheinen, nennt man die Brennweite und den Vereinigungspunkt selbst Brennpunkt. Bezeichnen wir die Brennweite mit f, so erhalten wir also:

für biconvexe Linsen $\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) \ldots (11)$

und für biconcave Linsen $\frac{1}{f} = -(n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) \ldots (12)$

also überhaupt als Bedingungsgleichung (7) und (8)

für convexe Linsen: $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \quad \ldots \quad (13)$

und für concave Linsen: $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = -\frac{1}{f} \quad \ldots \quad (14).$

Nennen wir die Entfernungen a und a' die Vereinigungsweiten, indem a angiebt, wie weit der Punkt von der Linse absteht, von welchem die Lichtstrahlen ausgehen, in welchem sie also vor dem Auffallen auf die Linse vereinigt sind, und a', wie weit derjenige Punkt von der Linse absteht, in welchem die Lichtstrahlen nach dem Durchgange durch die Linse wieder zusammentreffen, oder zusammenzutreffen scheinen, also sich wieder vereinigen oder zu vereinigen scheinen; so kann man das für convexe und concave Linsen gültige Gesetz so aussprechen:

Die Summe aus den umgekehrten Werthen der Vereinigungsweiten ist gleich dem umgekehrten Werthe der Brennweite.

Jetzt können wir die Erscheinungen näher angeben, welche unter den gestellten Bedingungen convexe und concave Linsen zeigen, wenn von einem auf der Axe liegenden leuchtenden Punkte Lichtstrahlen auf eine solche fallen.

Wir beginnen mit der Untersuchung über die Lage des Brennpunktes bei den verschiedenen Linsen.

Aus (11) erhalten wir für convexe Linsen:

$$f = \frac{Rr}{(n-1)\,(R+r)}; \quad \ldots \quad (15)$$

eben so aus (12) für concave Linsen:

$$f = -\frac{Rr}{(n-1)\,(R+r)}, \quad \ldots \quad (16)$$

d. h. die Brennweite ist gleich dem Producte aus den Halbmessern der beiden krummen Flächen der Linse dividirt durch den um Eins verminderten Brechungsexponenten und durch die Summe der beiden Halbmesser. Bei convexen Linsen ist die Brennweite positiv, d. h. es findet eine wirkliche Vereinigung der Lichtstrahlen hinter der Linse statt; bei concaven Linsen ist die Brennweite negativ, d. h. es findet nur eine scheinbare Vereinigung der Lichtstrahlen vor der Linse statt, oder die

Lichtstrahlen scheinen nach dem Durchgange durch eine concave Linse von einem vor derselben liegenden Punkte auszugehen.

Vergleichen wir zwei Linsen in Betreff ihrer Brennweite mit einander, so erhalten wir:

$$f : f_1 = \frac{R\,r}{R + r} : \frac{R_1\,r_1}{R_1 + r_1},$$

d. h. ihre Brennweiten verhalten sich wie die Quotienten aus der Summe der Halbmesser in das Product derselben.

Wenn sich die Producte aus den Halbmessern, wie die Summen derselben verhalten, so haben die Linsen gleiche Brennweiten; z. B. wenn $R = 8''$, $r = 6''$; $R_1 = 24''$ und $r_1 = 4''$ ist.

Bei einer biconvexen Linse mit gleichen Halbmessern der Krümmung ist $f = \frac{R}{2\,(n - 1)}$; je größer also der Halbmesser der Krümmung ist, desto größer ist auch die Brennweite.

Bei einer plan-convexen Linse ist der eine Halbmesser $= \infty$, folglich erhält man aus (11)

$$f = \frac{R}{n - 1},$$

mithin ist bei einer plan-convexen Linse die Brennweite noch einmal so groß, als bei einer biconvexen, bei welcher beide Krümmungen denselben Halbmesser haben, wie die Krümmung der plan-convexen.

Bei einer concav-convexen Linse, bei welcher der Halbmesser der concaven Fläche R ist, so daß also $R > r$ sein muß, wird

$$f = \frac{R\,r}{(n - 1)\,(R - r)},$$

weil nun R im Vergleich mit einer biconvexen Linse, für welche zunächst unsere Formel (15) entwickelt wurde, die entgegengesetzte Lage hat und mithin negativ zu nehmen ist. Eine concav-convexe Linse hat folglich eine größere Brennweite, als eine biconvexe mit denselben Halbmessern der Krümmung.

Bei einer biconcaven Linse mit gleichem Halbmesser der Krümmungen ist, $f = -\frac{R}{2\,(n - 1)}$; je größer also der Halbmesser der Krümmung ist, desto weiter steht der negative Brennpunkt von der Vorderseite der Linse ab, desto weniger divergent treten also die Strahlen auf der Hinterseite aus der Linse heraus.

Bei einer plan-concaven Linse ist wieder der eine Halbmesser $= \infty$ zu setzen, da eine Ebene als ein Stück der Oberfläche einer Kugel angesehen werden kann, deren Halbmesser unendlich groß ist. Aus (12) erhalten wir also:

$$f = -\frac{R}{n - 1},$$

also ist auch hier die negative Brennweite noch einmal so groß, als bei einer biconcaven Linse, bei welcher beide Krümmungen denselben Halbmesser haben, wie die Krümmung der plan-concaven. Die Strahlen treten bei einer solchen Linse also weniger divergent heraus, als bei der vorhergehenden.

Bei einer convex-concaven Linse, bei welcher der Halbmesser der convexen Fläche R ist, so daß also $R < r$ sein muß, wird

$$f = \frac{Rr}{(n-1)(r-R)},$$

weil nun R im Vergleich mit einer biconcaven Linse, für welche zunächst unsere Formel (16) entwickelt wurde, die entgegengesetzte Lage hat und mithin negativ zu nehmen ist. Eine convex-concave Linse hat folglich wieder eine größere negative Brennweite, als eine biconcave mit denselben Halbmessern der Krümmung.

2) Liegt der Licht ausstrahlende Punkt in endlicher Entfernung von der Linse auf der Axe und ist die Lage des Brennpunkts ermittelt, so geben uns die Formeln (13) und (14) die Wirkung der Linsen näher an. Wir schicken einige allgemeine Beziehungen zwischen der Brennweite und den Vereinigungsweiten voraus.

Die Brennweite einer Linse ist die mittlere Proportionale zwischen den arithmetischen Differenzen der Vereinigungsweiten und der Brennweite; es ist also für convexe Linsen $(a - f) : f = f : (a_1 - f)$ und für concave Linsen $(a + f) : f = f : (a_1 + f)$.

Es ist nämlich für convexe Linsen aus (13) $a_1 - f = \frac{a_1 f}{a}$ und $a - f = \frac{af}{a_1}$, also $(a_1 - f)(a - f) = f^2$; für concave Linsen aus (14) $a_1 + f = -\frac{a_1 f}{a}$ und $a + f = -\frac{af}{a_1}$, also: $(a_1 + f)(a + f) = f^2$

Jede Vereinigungsweite ist gleich der Summe aus der Brennweite und aus dem Producte dieser und derjenigen Zahl, welche angiebt, der wievielte Theil die zu bestimmende Vereinigungsweite von der zugehörigen anderen ist; ist also $a_1 = \frac{M}{m} a$, so ist $a_1 = f + \frac{M}{m} f$ und $a = f + \frac{m}{M} f$ für convexe Linsen, während für concave Linsen f negativ zu nehmen ist.

Ist eine convexe Linse gegeben und a und f bekannt, so ist (13) $\frac{1}{a_1} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a}$.

Liegt der leuchtende Punkt unendlich weit ab, so ist $\frac{1}{a} = o$, also $\frac{1}{a} = \frac{1}{f}$, d. h. $a = f$; es vereinigen sich mithin, wie wir schon wissen, die Strahlen nach dem Durchgange durch die Linse in dem Brennpunkte.

Liegt der leuchtende Punkt außerhalb der Brennweite, so ist $a > f$, also $\frac{1}{a} < \frac{1}{f}$, d. h. $\frac{1}{a_1}$ ist positiv und der Vereinigungspunkt liegt hinter der Linse; es ist aber auch alsdann $\frac{1}{a_1} < \frac{1}{f}$, folglich ist $a_1 > f$ und der Vereini-

gungspunkt liegt also außerhalb der Brennweite. Je größer a ist, desto kleiner wird $\frac{1}{a}$, also desto größer $\frac{1}{f} - \frac{1}{a}$ oder $\frac{1}{a_1}$, d. h. desto näher liegt der Vereinigungspunkt an dem Brennpunkte. Ist $a = 2f$, so ist a_1 ebenfalls $= 2f$, beide Vereinigungsweiten sind also dann gleich.

Liegt der leuchtende Punkt in dem Brennpunkte, so ist $a = f$, also $\frac{1}{a} = o$, d. h. $a = \infty$; es werden also die Strahlen nach dem Durchgange parallel mit der Axe.

Liegt der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, so ist $a < f$, also $\frac{1}{a} > \frac{1}{f}$ d. h. $\frac{1}{a_1}$ ist negativ und der Vereinigungspunkt liegt vor der Linse, ist also kein wirklicher, sondern nur ein scheinbarer Vereinigungspunkt, aus welchem die Strahlen divergent auszugehen scheinen. Je kleiner a ist, desto größer wird der absolute Werth von $\frac{1}{a_1}$, desto kleiner muß also a_1 sein, d. h. desto näher rückt der Vereinigungspunkt an die Linse, und umgekehrt je näher a am Brennpunkte liegt, desto weiter rückt der andere Vereinigungspunkt von der Linse ab, selbst bis in das negativ Unendliche, so bald $a = f$ wird. Ist $a = \frac{1}{2} f$, d. h. liegt der leuchtende Punkt in der Mitte der Brennweite, so ist $a_1 = - f$, d. h. der Vereinigungspunkt liegt in dem vorderen Brennpunkte; rückt der leuchtende Punkt noch näher an die Linse, so müßte also der Vereinigungspunkt innerhalb der vorderen Brennweite sich befinden.

Fassen wir diese Ergebnisse zusammen, so ergiebt sich, daß bei unendlicher Entfernung des leuchtenden Punktes die Strahlen sich im hinteren Brennpunkte vereinigen; rückt der leuchtende Punkt in meßbarer Entfernung heran, so rückt der Vereinigungspunkt weiter ab, bis in doppelter Entfernung der Brennweite beide Punkte gleichen Abstand von der Linse haben; rückt der leuchtende Punkt noch näher an den Brennpunkt, so entfernt sich der Vereinigungspunkt immer mehr, bis er unendlich weit absteht, sobald der leuchtende Punkt im Brennpunkte sich befindet. In diesem Falle kann man sagen, der Vereinigungspunkt der durchgegangenen Strahlen liege sowohl unendlich weit hinter, als vor der Linse. Steht der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, so rückt der Vereinigungspunkt, der nun vor der Linse liegt und nur ein scheinbarer ist, aus unendlicher Entfernung der Linse immer näher, bis derselbe bei einem Abstande des leuchtenden Punktes gleich der halben Brennweite im vorderen Brennpunkte liegt. Wird der Abstand des leuchtenden Punktes von der Linse noch geringer, so befindet sich der scheinbare Vereinigungspunkt innerhalb der vorderen Brennweite.

Ist eine concave Linse gegeben und sind a und f bekannt, so ist (14)

$$\frac{1}{a_1} = -\frac{1}{f} - \frac{1}{a} = -\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{a}\right).$$

Liegt der leuchtende Punkt unendlich weit ab, so ist $\frac{1}{a} = o$, also

$\frac{1}{a_1} = - \frac{1}{f}$, d. h. $a = - f$, es scheinen mithin die durchgegangenen Strahlen aus einem Punkte auszugehen, welcher vor der Linse liegt.

Liegt der leuchtende Punkt in einer meßbaren Entfernung, so bleibt $\frac{1}{a_1}$, also auch a_1 immer negativ, d. h. es findet stets nur eine scheinbare Vereinigung vor der Linse statt, und die Strahlen treten also immer divergirend auf der Hinterseite aus der Linse heraus. Je kleiner a wird, d. h. je näher der leuchtende Punkt an die Linse rückt, desto größer wird $\frac{1}{f} + \frac{1}{a}$, also auch der absolute Werth von $\frac{1}{a_1}$, d. h. a_1 wird kleiner als f; es rückt also der scheinbare Vereinigungspunkt der Linse näher und nie steht er weiter ab, als bis zur Brennweite. Befindet sich der leuchtende Punkt im Brennpunkte, so wird $a_1 = \frac{1}{2}$ f; der scheinbare Vereinigungspunkt liegt also in der Mitte der Brennweite, und während der leuchtende Punkt aus unendlicher Entfernung sich bis auf die Entfernung des Brennpunktes dem Glase nähert, rückt der scheinbare Vereinigungspunkt von dem Brennpunkte nur bis auf den halben Abstand des Brennpunktes an die Linse heran.

b) Wirkung der Linsen, wenn das Licht von **einem** Punkte außerhalb der Axe ausgeht.

Wenn wir zu den oben gemachten Voraussetzungen noch die hinzufügen, daß der leuchtende Punkt eine solche Lage habe, daß der durch die Mitte der Linse (das sogenannte optische Centrum) gehende Lichtstrahl mit der Axe nur einen kleinen Winkel bildet, und wir diesen Strahl, welchen man den Hauptstrahl nennt, als Axe für alle von dem Punkte auf die Linse fallenden Strahlen ansehen; so gilt in dem vorliegenden Falle dasselbe Gesetz wie in dem, wo der leuchtende Punkt sich auf der Axe befand, nämlich $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}$ für convexe und $-\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}$ für concave Linsen.

Es sei ACB in beistehender Figur eine convexe Linse, DCE die Axe, L der leuchtende Punkt in einem Abstande = LG von der Axe und in einer Entfernung = GC von der Linse. Der Hauptstrahl LC wird so gut als ungebrochen durch die Linse gehen, da dieselbe nicht dick sein kann und die berührenden Ebenen an dem Ein- und Austrittspunkte als parallel angenommen werden können. Ein anderer von L ausgehender Strahl LA schneide die Axe irgend wo, z. B. in D; so ist dieser Punkt D gewissermaßen der Ausgangspunkt eines von der Axe kommenden Strahles DA, und der Durchschnittspunkt des durchgegangenen Strahles mit der Axe in



H ist, wenn wir die Brennweite des Glases $= f$ setzen, durch die Gleichung $\frac{1}{f} = \frac{1}{DC} + \frac{1}{CH}$ bestimmt. Verlängern wir AH bis zu dem Durchschnitt mit dem Hauptstrahle LC, so erhalten wir den Punkt K, in einem Abstande $= KN$ von der Axe und in einer Entfernung $= CN$ von der Linse. Es ist nun für die Lage des Punktes K die Bedingungsgleichung zu suchen.

Verlängern wir LA über A nach M hin, so ist

$$\angle MAK = \angle ALK + \angle AKL = \angle ADC + \angle AHC.$$

Es ist aber $tgs \angle ALK = \frac{AC}{LC}$; $tgs \angle AKL = \frac{AC}{CK}$; $tgs \angle ADC = \frac{AC}{DC}$;

$$tgs \angle AHC = \frac{AC}{CH},$$

da man auch AC auf LCK als senkrecht stehend annehmen kann. Wegen der Kleinheit der Winkel wird man für die Tangenten die Winkel selbst nehmen können, folglich erhalten wir:

$$\frac{AC}{LC} + \frac{AC}{CK} = \frac{AC}{DC} + \frac{AC}{CH} \text{ oder } \frac{1}{LC} + \frac{1}{CK} = \frac{1}{DC} + \frac{1}{CH}.$$

Nun ist für einen leuchtenden Punkt auf der Axe in D bereits bewiesen, daß $\frac{1}{DC} + \frac{1}{CH} = \frac{1}{f}$ ist; folglich erhalten wir auch im vorliegenden Falle:

$$\frac{1}{LC} + \frac{1}{CK} = \frac{1}{f},$$

und somit gilt für einen außerhalb der Axe liegenden Punkt auf den Hauptstrahl bezogen dieselbe Bedingungsgleichung wie für einen auf der Axe liegenden Punkt, und folglich gelten hier auch alle die näheren Bestimmungen, welche sich dort in den einzelnen Fällen ergaben.

Wollen wir noch den Abstand des Punktes K von der Axe und von der Linse bestimmen, so ergiebt sich sofort, da $\triangle LCG \sim \triangle NCK$ ist, daß $GC : CN = GL : KN$ sein muß, also:

$$NK = \frac{CN}{GC} \cdot GL;$$

da aber auch $LC : CK = GC : CN$ ist, und CK durch LC und f mit Hülfe der Gleichung $\frac{1}{LC} + \frac{1}{CK} = \frac{1}{f}$ bestimmt wird, so ist CN und mithin auch NK durch GC, GL und f bestimmt.

Setzen wir $LC = \alpha$, $CK = \alpha_1$, so ist die Bedingungsgleichung

für convexe Linsen $\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_1} = \frac{1}{f}$ . . . (17)

und für concave Linsen $\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_1} = -\frac{1}{f}$ . . . (18).

Setzen wir $GC = b$, $CN = b_1$; $GL = \beta$ und $NK = \beta_1$; so ist

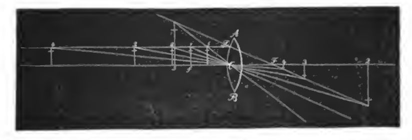
$$b_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha} \cdot b \text{ und } \beta_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha} \cdot \beta \quad . . . (19).$$

Da auch hier in den Bedingungsgleichungen (17) und (18) AC nicht vorkommt, so folgt daraus, daß unter den gemachten Voraussetzungen alle von dem Punkte ausgehenden und die Linse treffenden Strahlen in einem Punkte sich vereinigen, daß also das durchgegangene Licht eben so wie das auffallende einen Kegel bildet. Da ferner in den Gleichungen (19) b und β_1 sich von einander unabhängig erweisen, so folgt daraus, daß jeder in der Linie LG gelegene leuchtende Punkt seinen Vereinigungspunkt auf KN hat, nämlich da, wo der von dem leuchtenden Punkte gezogene Hauptstrahl KN schneidet.

c) Wirkung der Linsen, wenn das Licht von einem Gegenstande ausgeht.

Aus den zuletzt gefundenen Gleichungen (19) folgt, daß, wenn mehrere leuchtende Punkte in einer auf der Axe senkrechten Linie über einander liegen, die Vereinigungspunkte der durchgegangenen Strahlen ebenfalls und zwar in derselben Ordnung in einer solchen Linie liegen, d. h. die durchgegangenen Strahlen geben ein Bild des Gegenstandes. Es kommt nun hierbei namentlich darauf an, die Lage und die Größe des Bildes zu bestimmen. Ersteres geschieht mit Hülfe der Gleichungen (17) und (18), letzteres mit denen unter (19), und da (17) und (18) für den Fall, daß der leuchtende Punkt auf der Axe liegt, bereits discutirt sind, so bedarf es hier in Betreff der Lage des Bildes, in sofern wir darunter nur die Entfernung von der Linse verstehen, weiter keiner Erläuterung. Es kommt jedoch noch in Betracht, ob das Bild zu dem Gegenstande in derselben oder in der umgekehrten Lage (oder besser Stellung) sich befindet, und deshalb müssen wir hier noch näher auf diese Erscheinungen eingehen. Wir verfahren hierbei am zweckmäßigsten constructiv, da wir dann am schnellsten alle möglichen Fälle übersehen können.

1) Es sei in beistehender Figur ABC eine convexe Linse, deren Axe in fCF liegt; f sei der vordere, F der hintere Brennpunkt, also Cf = CF, wenn C der optische Mittelpunkt ist; auf der vorderen Seite stehe ein Object, z. B. ein



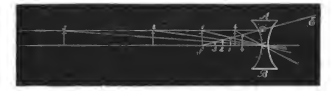
Kreuz, in verschiedenen Entfernungen, als im Brennpunkte f, in größerer Entfernung und in kleinerer Entfernung. Die von dem Fußpunkte des Kreuzes ausgehenden Strahlen vereinigen sich in der Axe, also auf CF; die von der Spitze des Kreuzes ausgehenden Strahlen vereinigen sich auf dem Hauptstrahle, C_1, C_2, C_3 . . . . Da nun ein parallel mit der Axe auffallender Strahl, wie wir bereits oben gesehen haben, durch den Brennpunkt geht, so erhalten wir sehr leicht für

einen zweiten von der Spitze des Kreuzes ausgegangenen Lichtstrahl die Richtung nach dem Durchgange, wenn wir nämlich den parallel mit der Axe gerichteten Strahl verfolgen. Nach dem Durchgange geht dieser durch den Brennpunkt, und wo dieser Strahl den Hauptstrahl trifft, da muß der Vereinigungspunkt aller von der Spitze ausgehenden Strahlen liegen. Ist F der Brennpunkt, so geht D_1, D_2, D_3 . . . nach dem Durchgange fort in der Richtung DF. Da Cf = CF ist, so muß der Hauptstrahl C_1 parallel mit DF werden, d. h. das Bild von einem im Brennpunkte einer converen Linse befindlichen Objecte liegt in unendlicher Entfernung, und zwar kann man eben so gut sagen hinter als vor der Linse. Der Hauptstrahl C_2 schneidet DF so, daß, wenn wir von dem Durchschnittspunkte eine senkrechte Linie auf die Axe fällen, wir das Bild 2 bekommen; eben so ist es mit den Kreuzen 3 und 4, welche die Bilder 3 und 4 geben. Zum Unterschiede sind die Objecte an der Spitze mit Zahlen bezeichnet, die Bilder aber an dem Fußende. Hierbei sehen wir sofort, daß je weiter das Object außerhalb der Brennweite liegt, das Bild dem Brennpunkte immer näher rückt und eine umgekehrte Lage hat, aber immer außerhalb der hinteren Brennweite sich befindet. Würde das Object in unendliche Entfernung treten, so würde der Durchschnittspunkt des Hauptstrahles mit DF in den Brennpunkt selbst fallen, und dort also ein kleines Bild des Objectes entstehen. — Steht das Object in der Stellung 5 innerhalb der Brennweite, so liegt der Durchschnittspunkt des Hauptstrahles mit DF vor der Linse, und wir erhalten in 5 ein Bild, welches mit dem Objecte dieselbe Stellung hat. Aus der Zeichnung ist klar, daß je näher das Object dem Brennpunkte steht, der Durchschnittspunkt des Hauptstrahles mit DF in immer größerer Entfernung vor der Linse sich findet, daß also das Bild auch immer weiter sich entfernt. Stände das Object dem Brennpunkte innerhalb der Brennweite unendlich nahe, so würde das Bild unendlich weit vor der Linse sich befinden, so daß sich also auch hier herausstellt, wie schon vorher bemerkt wurde, daß das Bild eines im Brennpunkte stehenden Objectes eben so wohl vor als hinter der Linse in unendlicher Entfernung stehe.

Die Stelle, an welcher sich das Bild befindet, ist genau dieselbe, welche wir im Abschnitte B. a, 1 für einen auf der Axe befindlichen Punkt gefunden haben. Die Stellung des Bildes ist die umgekehrte des Objectes, sobald dies außerhalb der Brennweite sich befindet, aber dieselbe wie die des Objects, sobald das Object innerhalb der Brennweite steht. Die Bilder für Objecte, welche außerhalb der Brennweite stehen, sind physische, d. h. durch wirkliche Vereinigung von Lichtstrahlen gebildete und können deshalb auf Flächen aufgefangen werden; die Bilder für Objecte, welche innerhalb der Brennweite sich befinden, sind mathematische, d. h. nur durch scheinbare Vereinigung der Lichtstrahlen zu Stande gekommen, eben so wie die Bilder in ebenen Spiegeln. Die Größe des Bildes ist um so bedeutender, je näher das Object am Brennpunkte steht, sei es innerhalb oder außerhalb der Brennweite.

Die Größe des Bildes läßt sich berechnen nach der Gleichung (19) für $\beta_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha}\,\beta$; nur ist dabei zu merken, daß, sobald der Gegenstand in einer unbestimmbaren Entfernung sich befindet, während seine Größe unter einem meßbaren Winkel x erscheint, diese Formel unbrauchbar wird. Es ist dann $\alpha = \infty$, also $\alpha_1 = f$ und wir erhalten dann die Größe des Bildes $= f \,.\, \lg x$.

2) Es sei A C B in beistehender Figur eine concave Linse, deren Axe in f C liegt; f sei der auf der vorderen Seite liegende, also negative Brennpunkt; C der optische Mittelpunkt, und auf der vorderen Seite stehe ein Object, z. B.



wieder ein Kreuz in verschiedenen Entfernungen von der Linse, als in dem Brennpunkte f, innerhalb und außerhalb der Brennweite. Der Vereinigungspunkt für Lichtstrahlen, welche von der Axe ausgehen, liegt bei einer concaven Linse, wie wir vorher gesehen haben, wieder auf der Axe und zwar innerhalb der Brennweite. Hieraus sehen wir schon, daß eine concave Linse auch nur Bilder geben wird, welche mathematische sind und nicht weiter abstehen, als der negative Brennpunkt. Der von der Spitze des Kreuzes ausgehende Hauptstrahl geht ungebrochen durch den optischen Mittelpunkt; der parallel mit der Axe gehende Strahl: D_1, D_2, D_3 . . . ., scheint nach dem Durchgange aus f zu kommen, also liegt der Vereinigungspunkt der von der Spitze ausgehenden Strahlen in dem Durchschnittspunkte von D f mit C_1, C_2, C_3. . . . Wir erhalten also für die Objecte in 1, 2, 3 . . . die Bilder 1, 2, 3 . . . ., wo die Objecte an der Spitze, die Bilder an dem Fußende mit Zahlen bezeichnet sind. Da der Durchschnittspunkt des Hauptstrahles mit D f dem Punkte D immer näher kommt, je näher das Object der Linse rückt, so steht auch das Bild immer näher an der Linse und wird zugleich immer größer. Die Stelle des Bildes ist stets innerhalb der Brennweite; die Stellung stets der des Objectes gleich; die Bilder sind stets mathematische; die Größe des Bildes wächst mit der Annäherung des Objectes an die Linse, bleibt aber stets kleiner als das Object.

Wegen der Berechnung der Größe des Bildes gilt hier dasselbe, wie bei convexen Linsen; während dort aber $\frac{\alpha_1}{\alpha}$ sehr verschiedene Werthe haben kann, da $\alpha_1 \gtreqless \alpha$ werden kann, ist hier stets $\alpha_1 < \alpha$, also $\beta_1 < \beta$. Für $\alpha = \infty$ wird, wenn das Object unter einem meßbaren Winkel x erscheint, $\beta_1 = - f \,.\, \text{tg}\, x$.

d) Wirkung der Linsen, wenn das von einem Gegenstande ausgegangene Licht bereits eine Linse durchdrungen hat und dann abermals auf eine Linse trifft.

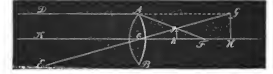
Es ist hier zu unterscheiden, ob das durch die erste Linse entstandene Bild ein physisches oder mathematisches ist. Da das letztere vor der Linse liegt und die Lichtstrahlen aus derselben so austreten, als ob sie von dem mathematischen Bilde herkämen wie von einem Objecte, so kann man ein solches Bild insofern auch wie ein Object betrachten, welches seine Lichtstrahlen auf eine zweite Linse fallen läßt. Es bietet also dieser Fall nichts Besonderes dar und alle die Erschei-

nungen treten nun bei der zweiten Linse auf, die nach dem Vorhergehenden eintreten, wenn von einem Gegenstande Licht auf eine Linse fällt.

Eben so ist es, wenn das durch die erste Linse erzeugte physische Bild durch eine Linse betrachtet wird, welche von der ersten Linse weiter absteht, als dies Bild, da man dasselbe in Beziehung zu der zweiten Linse wiederum als Object ansehen kann. Ist aber das durch die erste Linse erzeugte Bild ein physisches und steht die zweite Linse näher an der ersten, als das Bild, so werden offenbar die Strahlen, ehe sie das Bild erzeugen, unterbrochen, und es fragt sich nun, welchen Erfolg dieses Zwischentreten der zweiten Linse hat. Hierbei macht es einen Unterschied, je nachdem die eingeschobene Linse convex oder concav ist.

1) Wird das Zustandekommen eines physischen Bildes, welches eine Linse erzeugen würde — und nach dem Vorhergehenden kann dies nur durch convexe Linsen geschehen, — durch eine eingeschobene convexe Linse verhindert, so entsteht statt des Bildes hinter der eingeschobenen Linse ein kleineres physisches Bild in derselben Stellung, welche das gestörte Bild haben müßte, und zwar ist es um so kleiner, je weiter die eingeschobene Linse von dem Orte, welchen das gestörte Bild einnehmen würde, entfernt ist.

Es sei ACB in beistehender Figur die convexe Linse mit ihrer Axe KCF, welche das Zustandekommen des Bildes GH verhindert. Da dies Bild dadurch entsteht, daß sich die von einem Punkte des Objectes ausgehenden Strahlen in dem Bilde



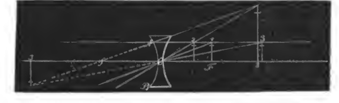
wieder in einem Punkte vereinigen, so kann unter diesen Strahlen einer ECG sein, welcher in der Richtung durch den optischen Mittelpunkt der eingeschobenen Linse hindurch nach dem Punkte G gegangen wäre. Dieser würde ungebrochen durch die eingeschobene Linse gehen. Ein zweiter Strahl, der zu dem Punkte G gehörte, kann parallel mit der Axe gegangen sein, also in der Richtung DAG. Dieser Strahl würde durch die eingeschobene Linse so gebrochen werden, daß er durch den auf der hinteren Seite derselben liegenden Brennpunkt F gehen müßte, also in der Richtung AF. Da sich nun alle von einem Punkte ausgehenden Strahlen nach dem Durchgange durch eine Linse — wenn nur die bei unserer Untersuchung überhaupt aufgestellten Voraussetzungen erfüllt sind — wieder in einem Punkte vereinigen, so liegt der Vereinigungspunkt der Strahlen, welche in G zusammentreffen würden, da wo sich AF und CG schneiden, also in G, und da dasselbe von allen Punkten des Bildes GH in gleicher Weise durchgeführt werden kann, so entsteht nun das Bild gh statt des Bildes GH. Daß die Strahlen DA und EC in der That vorhanden seien, ist gar nicht nöthig; mit ihrer Hülfe kann man nur den Vereinigungspunkt aller Strahlen, die nach G gehen würden, am einfachsten finden.

Die Verhältnisse zwischen gh und GH sind ganz dieselben, wie sie in der Abtheilung B. c, 2 für eine concave Linse gefunden sind, wenn durch eine solche ein Object betrachtet wird, weshalb wir uns hier darauf berufen.

2) Wird das Zustandekommen eines physischen Bildes, welches eine Linse erzeugen würde, durch eine eingeschobene concave Linse verhindert, so ist der Erfolg verschieden. Steht die Linse so, daß die Stelle, welche das Bild eigentlich einnehmen würde, mit dem hinteren Brennpunkte zusammentrifft, so entsteht gar kein neues Bild. Steht die Linse näher an der Stelle des Bildes, also dieses innerhalb der hinteren Brennweite der eingeschobenen Linse, so entsteht hinter dieser Linse ein größeres physisches Bild in derselben Stellung, welche das Bild haben würde. Steht die Linse weiter ab von der Stelle des Bildes, als seine Brennweite beträgt, so erhält man ein mathematisches Bild vor der eingeschobenen Linse in einer umgekehrten Stellung von der, welche das Bild haben würde, und zwar um so größer, je weniger das Bild außerhalb der Brennweite stehen würde, so daß bei einer Entfernung gleich der doppelten Brennweite beide Bilder gleich groß sein müßten.

Auch diese Erscheinungen lassen sich durch eine Zeichnung leicht anschaulich machen.

Es sei ACB in beistehender Figur die concave Linse mit der Axe fCF; F und f seien die Brennpunkte, also CF = Cf. Stände das Bild 1 in F, so würden der Hauptstrahl C_1 und der mit der Axe parallele Strahl A_1, da dieser



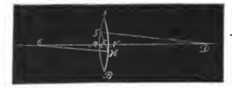
nach dem Durchgange aus f zu kommen scheint, parallel laufen, also würde gar kein Bild statt des Bildes 1 entstehen. Stände das Bild zwischen C und F, z. B. in 2, so würde der Hauptstrahl C_2 den parallel mit der Axe gehenden Strahl A_2 in der Richtung von f nach A hin schneiden und das physische Bild 2 entstehen, um so größer, je näher das gestörte Bild an F liegen würde. Stände das Bild außerhalb CF, z. B. in 3, so würden sich C_3 und Af in der Richtung nach f hin schneiden und ein umgekehrtes mathematisches Bild entstehen, um so größer, je näher das gestörte Bild seine Stelle an F gehabt hätte.

Die Verhältnisse zwischen dem gestörten und dem neu entstandenen Bilde sind ganz übereinstimmend mit den im Abschnitte B. c. 1 für eine convexe Linse gefundenen, wenn durch eine solche ein Object betrachtet wird, und deshalb berufen wir uns hier ebenfalls darauf.

Die Ableitung der Erscheinungen, welche Linsen hervorbringen, ist im Vorhergehenden unter gewissen Einschränkungen geschehen, die nur annähernd erfüllt werden können; es ist daher nöthig noch näher darauf einzugehen, wie man diese Annäherung möglichst vollkommen erreicht. Vorher jedoch wollen wir noch einen Punkt erledigen, der einer Rechtfertigung bedarf, nämlich weshalb wir annehmen konnten, daß der durch die Mitte des Glases, oder genauer durch den optischen

Mittelpunkt gehende Strahl, so gut wie ungebrochen durch die Linse hindurch gehe. Es betrifft dies also eigentlich die Feststellung des Begriffes des optischen Mittelpunktes, d. h. wir haben nachzuweisen, daß es wirklich einen Punkt in der Linse giebt, durch welchen die Strahlen so gut wie ungebrochen gehen.

Die Linse sei in beistehender Figur A B, der Mittelpunkt der vorderen Fläche D, der hinteren Fläche C. Für einen in G einfallenden Strahl ist dann das Einfallsloth D G. Ziehen wir nun C H parallel D G, so läßt sich leicht zeigen, daß ein in G einfallender Strahl, wenn er nach der Brechung im Glase die Richtung G H erhält, auf der Rückseite in paralleler Richtung mit dem einfallenden Strahle wieder austreten müsse, d. h. der Punkt E, in welchem G H die Axe C D schneidet, ist der optische Mittelpunkt.



Weil C H und D G parallel laufen, so ist $< DGH = < CHG$; der Strahl G H macht also in der Linse mit den Einfallslothen gleiche Winkel und muß mithin eben so weit beim Austritte aus der Linse bei H von dem Einfallslothe abgebrochen werden, als er beim Eintritte bei G demselben zugebrochen wurde, d. h. der bei H austretende Strahl ist dem bei G einfallenden parallel. Ein durch E gehender Strahl geht also bei der geringen Dicke der Linse so gut wie ungebrochen hindurch, da er nur um ein Weniges nach der Seite verschoben, aber in seiner Richtung nicht geändert wird.

Wollen wir den Punkt E mathematisch bestimmen, so möge sein Abstand von der Vorderfläche der Linse $ME = x$ sein, die Dicke des Glases $MN = d$, so ist

$$GD : CH = ED : CE, \text{ d. h.}$$
$$GD : CH = GD - x : CH - (d - x)$$

oder, wenn $GD = R$ und $CH = r$ gesetzt wird,

$$R : r = R - x : r - d + x,$$

folglich ist $R(r - d + x) = r(R - x)$, woraus man erhält

$$x = \frac{dR}{R + r} \text{ und } d - x = \frac{dr}{R + r}.$$

Da sich hier für die Lage des Punktes E nur eine Abhängigkeit herausstellt von der Dicke des Glases und den Halbmessern der beiden krummen Flächen, so ist die Entfernung des Punktes G von der Axe gleichgültig, d. h. jeder durch E, also durch den optischen Mittelpunkt, gehende Strahl geht so gut wie ungebrochen hindurch.

Derselbe Werth für x und $d - x$ ergiebt sich für concave Gläser, da R und r alsdann nur negativ zu setzen sind.

Um die Lage dieses Punktes übrigens noch deutlicher zu überschauen, wollen wir die verschiedenen Linsenformen noch näher betrachten. Ist die Linse biconvex oder biconcav und $R = r$, so ist $x = d - x = \frac{1}{2} d$, d. h. der optische Mittelpunkt liegt in der Mitte der Linse. Ist $R > r$, so ist $x > d - x$, d. h. die Stelle liegt der gekrümmten Fläche näher. Ist $R = \infty$, also die vordere Fläche eben, so ist $d - x = 0$, also $x = d$; ist $r = \infty$, also die hintere Fläche eben, so ist $x = 0$; folglich liegt beide Mal der Punkt da, wo die Axe die krumme Fläche

schneidet. Ist die Linse concav-convex oder convex-concav, so ist im ersten Falle der Halbmesser der concaven, im zweiten der Halbmesser der convexen Fläche negativ zu setzen; nehmen wir an, daß dies der Halbmesser r sei, so wird $x = \frac{dR}{R - r}$, also ist $x > d$ und der optische Mittelpunkt liegt mithin außerhalb der Linse. Da nun r in beiden Fällen größer als R sein muß, so ist x negativ, und im ersten Falle liegt mithin der Punkt vor der convexen, im anderen vor der concaven Fläche.

Um die oben gestellten Bedingungen, namentlich das Einfallen der Strahlen nahe an der Axe, möglichst zu erreichen, pflegt man bei Anwendung von Linsen zur Herstellung optischer Instrumente die Ränder der Linse und einen Theil ihrer Oberfläche mit einem undurchsichtigen kreisförmigen Rande zu bedecken, den man eine Blendung oder (griech.) ein Diaphragma nennt. Die innere, um den Mittelpunkt befindliche, Fläche der Linse heißt dann die Oeffnung oder (lat.) Apertur des Glases. Hierbei zeigt sich aber wieder ein Uebelstand, nämlich daß, je kleiner die Apertur ist, zwar die Strahlen der Axe um so näher einfallen, also eine um so vollständigere Vereinigung in einem Punkte erzielt wird, daß dann aber auch von dem Gegenstande um so weniger Licht auf die Linse fällt und also eine Lichtschwächung herbeigeführt wird. Das Eine beeinträchtigt das Andere, und deshalb sind bestimmte Verhältnisse nöthig, damit nicht das Eine zu sehr auf Kosten des Anderen überwiege *).

Eine fernere Bedingung war, daß eine Linse ihren optischen Mittelpunkt in ihrer Axe hat, d. h. daß sie richtig centrirt ist. Convexe Linsen, die am Rande ganz ausgeschliffen sind, müssen demnach bei vollkommener Rundung einen gleich scharfen Rand haben, oder wenn die Schärfen weggenommen sind, allenthalben gleich dick erscheinen. Dasselbe muß auch an Hohllinsen eintreten, wenn sie centrirt sein sollen. Demnach wird von einer gut centrirten Linse gefordert, daß sie in jedem Kreise, dessen Mittelpunkt in die Axe fällt, durchaus gleich dick sei, und die Untersuchung dieser Dicke wird das beste Mittel, die Centrirung zu prüfen, abgeben. Sie muß aber mit einem ungemein empfindlichen Werkzeuge, nämlich mit dem sogenannten doppelten Fühlhebel vorgenommen werden, wenn sie zu einem genauen Resultate führen soll. Dieses auch zu anderen Zwecken höchst brauchbare Instrument besteht aus zwei neben einander befindlichen ungleicharmigen zweiarmigen Hebeln, wie sie nebenstehende Figur darstellt, die gleichsam eine Zange bilden. Zwischen die kürzeren Schenkel, welche die Backen der Zange vorstellen, kommt die Linse, während die längeren über einer Scale sich befinden. Ist die Linse in eine Drehbank so

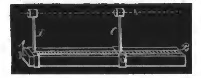
*) Vergl. Art. Fernrohr. Bd. III. S. 100.

eingespannt, daß ihre Axe in die Drehungsaxe der Spindel fällt, und wird sie um diese Axe langsam gedreht, so zeigt die Bewegung der längeren Hebelarme die geringste Ungleichheit der Linse an. Bei einer centrirten Linse bleiben diese vollkommen ruhig. — Eine so eingespannte Linse kann man noch auf eine andere Weise untersuchen. Stellt man nämlich in einiger Entfernung von ihr eine brennende Kerze auf und läßt dann die Linse umlaufen, so darf man nur die an beiden Glasflächen reflectirten Bilder der Flamme genau beobachten, um sich vom Zustande der Centrirung der Linse zu überzeugen. Sind diese Bilder beim Rotiren der Linse vollkommen ruhig, so ist die Linse gut centrirt, ist dieses aber nur mit einem der Fall, während das andere sich bewegt, so ist die Fläche, zu welcher das bewegte Bild gehört, schlecht centrirt. Sollten sich gar beide Bilder bewegen, so hat die Linse überhaupt nicht die gehörige Lage an der Docke der Drehbank. — Man kann noch auf eine andere Weise durch die Lage der reflectirten Bilder die Centrirung einer Linse prüfen. Man stelle sie gegen einen weit entfernten leuchtenden Gegenstand so, daß die an beiden Flächen durch Reflexion entstandenen Bilder entweder sich decken, falls sie gleich groß sind, oder wenn dieses nicht der Fall ist, so daß das kleinere mitten in das größere fällt, und merke den Mittelpunkt des kleineren Bildes, den man, wenn dieses überhaupt sehr klein ist, wie es stets sein soll, leicht treffen wird, mit einem Tupf an. Hierauf kehrt man die Linse um und nimmt dieselbe Operation wieder vor, wodurch man einen zweiten Punkt bekommt, und jeder dieser zwei Punkte muß der Mittelpunkt des entsprechenden kreisförmigen Umfanges der Linse sein, wenn sie centrirt ist. — Das ganze Geschäft der Prüfung der Centrirung setzt freilich voraus, daß die krummen Flächen der Linsen Kugelflächen seien, welches wohl bei kleinen Linsen meistens der Fall ist, bei großen aber, wo auch die richtige Centrirung am schwersten zu erreichen ist, giebt es oft bedeutende Abweichungen von der Kugelgestalt. Diese kommen häufig vom unzweckmäßigen Verfahren beim Poliren her, wohl auch von einem unbedachtsamen Einspannen der Glasmasse beim Schleifen. Meistens kittet man diese Masse an eine Handhabe, falls man sie aus freier Hand schleift, oder an den Radius der Schleifmaschine an. So wie man sie dabei fest an den warmen Kitt andrückt, geräth sie in eine unnatürliche Spannung, die beim Erkalten noch größer wird, und wenn sie nun auch vollkommen kugelförmig geschliffen wird, so verliert sie doch diese Form augenblicklich, sobald man sie vom Kitt losmacht, weil da die Glastheile wieder ihre natürliche Lage gegen einander annehmen. Eine andere Quelle, aus welcher eine Abweichung von der Kugelgestalt fließt, ist die Erwärmung an der im Schleifen begriffenen Glasfläche. Fraunhofer, der allen Schwierigkeiten auf das Beste zu begegnen wußte, sorgte daher stets dafür, daß die Glasmasse, welche vor dem Schleifen nur eine Glasscheibe, wie sie beim sogenannten Senken entstanden war, vorstellte, nur mit ihrem eigenen Gewichte den weichen Kitt drückte und beim Schleifen ein beständiger Durchzug der Luft zwischen der Linse und dem Radius der Maschine stattfinden konnte. Deshalb wurde eine Glasscheibe mit mehreren im Kreise herum befindlichen Kitttropfen versehen, die zu schleifende Glasmasse darauf gelegt und beide zusammen an einen Ort gebracht, wo der Kitt sich erweichen und hierauf wieder fest werden mußte, ohne so zusammen zu sinken, daß sich beide Gläser berühren können. Nach diesem wird erst das Glas, welches als Basis diente, an den Radius der Maschine befestigt und zum Schleifen geschritten.

Es führt uns diese Untersuchung der richtigen Construction der Linsen auf die Anfertigung dieser wichtigen Körper überhaupt, und deshalb wollen wir an dieser Stelle gleich einige Bemerkungen einschalten über die Wahl des zu Linsen zu verwendenden Glases. Eine brauchbare Linse soll aus vollkommen durchsichtigem, von Streifen, Wellen und Bläschen möglichst freiem, allenthalben gleich dichtem Glase bestehen. Bläschen, die sich etwa in einer Linse befinden, schaden zwar der Deutlichkeit der Bilder, welche sie liefert, nicht viel, vermindern aber die Lichtstärke, wenn sie zahlreich und groß sind. Merklich große Linsen sind selten ganz blasenfrei. Anders verhält es sich mit den Wellen; so nennt man nämlich jene meist krummen, verwaschenen Strichen ähnlichen Züge in einer Glasmasse, die denjenigen sehr stark gleichen, welche man im Wasser bemerkt, wenn man Weingeist hineingießt. Sie entstehen aus einer Bewegung der ungleich erwärmten und wahrscheinlich auch ungleichförmig gemengten flüssigen Glasmasse, welche beim Abkühlen noch die kenntlichen Spuren ihrer Ungleichförmigkeit beibehält. Die Wellen sind der Deutlichkeit der Bilder sehr nachtheilig und es ist eine Linse stets verwerflich, die besonders um die Axe herum solche Wellen enthält. Sie sind bei Flintglaslinsen häufiger als bei denen aus Crownglas, jedoch bei letzteren leider auch viel öfter vorhanden als man gewöhnlich glaubt. Man erkennt sie oft sehr schwer und nur bei vieler Uebung mit bewaffnetem Auge, nur wo sie häufig und groß sind, kann man sie bei einer oberflächlichen Betrachtung wahrnehmen. Nicht alle schaden gleich stark. Die langen streifenartigen Wellen sind viel schädlicher als die, welche von Bläschen ausgehen. — Das beste Mittel, eine Linse auf Wellen zu untersuchen, ist, sie so gegen eine Kerzenflamme zu halten, daß das Bild sich über die ganze Glasfläche erstreckt und sie sehr stark beleuchtet. Nicht selten gehen die Wellen von kleinen länglichen Bläschen aus, an denen die Welle gleichsam eine schweifartige Verlängerung bildet. Darum muß man bei Prüfung einer Linse in dieser Beziehung die Umgebung solcher Bläschen besonders sorgfältig ins Auge fassen. — Linsen bestehen oft aus Glas, das schnell abgekühlt ist, und sind darum ungleich dicht. Man erkennt dieses am besten, wenn man sie in polarisirtes Licht stellt. Gleichförmig dichtes Glas zeigt da keine Spur einer Färbung, während bei einer geringen Ungleichheit der Dichte eine solche stets bemerkbar wird, besonders wenn man die Linse bei verschiedenen Stellungen gegen die Polarisationsebene betrachtet. Manchmal bewirkt eine ungleiche Spannung in der Fassung oder ein zu starkes oder ungleiches Anziehen der Schrauben eine Compression des Glases, wodurch es fähig wird, im polarisirten Lichte sich als ungleich dicht darzustellen. Doch kehrt die natürliche Dichte meist wieder zurück, wenn man die Schrauben etwas lüftet. Achromatische Doppellinsen sind diesem Fehler gar oft unterworfen, wenn sie aus den Händen von Optikern kommen, welche die beiden Bestandlinsen sich unmittelbar berühren lassen, und sie überdies festschrauben.

Da wir in unserer Formel $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$ die Brennweite als bekannt vorausgesetzt haben, diese aber, wie sich aus den Formeln $\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$ und $\frac{1}{f} = -(n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$ ergiebt, von dem Brechungsexponenten abhängig ist, so fragt es sich, wie man bei einer gegebenen Linse diesen ermitteln

kann. Es bieten hierzu die eben angeführten Formeln selbst ein Mittel dar. Es ergiebt sich nämlich aus der ersten für convexe Linsen $n = 1 + \frac{1}{f\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)}$, und aus der zweiten für concave Linsen $n = 1 - \frac{1}{f\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)}$; kennt man also die Halbmesser der Krümmungen und die Brennweite, so läßt sich n sofort berechnen. Sind die Halbmesser der Krümmungen bekannt, so hat man nur die Brennweite zu ermitteln, und dazu bedient man sich folgenden Verfahrens. A B in beistehender Figur ist ein Maßstab, auf welchem zwei senkrechte Säulchen C und D aufgerichtet sind, von denen das eine D fest steht und an der nach C gekehrten Seite ein flaches Scheibchen hat, während das andere C sich verschieben und in jeder Stellung mittelst einer Stellschraube befestigen läßt. Es ist zweckmäßig, wenn überdies eine Schraube so angebracht ist, daß man mittelst derselben dem Säulchen C eine feine Bewegung ertheilen kann. C hat oben eine metallene Hülse, welche zur Aufnahme der Linse bestimmt ist. Läßt man nun von einem sehr weit entlegenen Gegenstande Licht auf diese Linse fallen, und nähert sie der Scheibe an D so weit, daß auf dieser das Bild des Gegenstandes rein und möglichst deutlich erscheint, so giebt die Entfernung der beiden Träger die Brennweite f der Linse. — Durch dies Verfahren erhält man zunächst nur die Brennweite für convexe Gläser. Für concave Linsen muß man, da der Brennpunkt negativ ist, die Linse mit Papier bedecken, auf diesem einen Durchmesser ziehen und in diesem in gleichem Abstande von dem Mittelpunkte zwei kleine Löcher anbringen. Läßt man nun auf eine solche Linse Sonnenstrahlen fallen, so gehen dieselben so durch die kleinen Löcher, als ob sie von dem negativen Brennpunkte herkämen; fängt man daher mit einem Stabe oder mit einer Scheibe die beiden durchgegangenen Strahlen auf, mißt ihren gegenseitigen Abstand und die Entfernung des Stabes oder der Scheibe von der Linse, so erhält man die zur Berechnung der Brennweite nöthigen Bestimmungen. Ist nämlich die Entfernung des Stabes von der Linse $= e$, der Abstand der beiden hellen Punkte auf dem Stabe, welcher der Ebene parallel sein muß, die durch den Rand der Linse gelegt ist, $= g$, der Abstand der beiden kleinen Löcher von einander $= h$, so erhält man für die Brennweite f:



$$g : h = e + f : f, \text{ also: } g - h : e = h : f,$$

$$\text{folglich } f = \frac{eh}{g - h}.$$

Einen neuen Apparat zum Messen der Brennweite von Linsen hat G. Merz angegeben, bei welchem namentlich für concave Linsen der Zweck dadurch erreicht wird, daß dieselben mit einem bekannten Convexglase verbunden werden *).

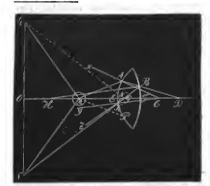
*) Poggend. Ann. Bd. LXIV. S. 321.

Durch diese Methoden findet man indessen die Brennweite und mithin den Brechungsexponenten nie so genau, als es in vielen Fällen nöthig ist. Aus dem so gefundenen beiläufigen Werthe von n den genauen zu ermitteln, dazu hat Stampfer ein Verfahren angegeben, welches auf Folgendem beruht: Wenn von einem leuchtenden Punkte Strahlen auf eine Linse fallen, so dringt ein Theil derselben in die Linse ein, erreicht ihre Hinterfläche, wird da zum Theile gegen die Vorderfläche reflectirt und durch diese neuerdings gebrochen. In der gehörigen Stellung sieht man daher das Bild des Gegenstandes in der Linse, und man kann von einem Punkte der Axe aus den Winkel messen, welchen die nach dem Objecte und nach dem Bilde gerichtete Gesichtslinie macht. Noch schärfer wird das Resultat, wenn man zwei von einem Punkte der Axe der Linse gleich weit abstehende Objecte wählt und die Winkel mißt, welche die nach beiden Objecten sowohl als nach beiden Bildern gezogenen Gesichtslinien mit einander einschließen, welche Winkel offenbar den doppelten Werth der vorhergehenden haben werden. Man ist nun im Stande, aus dem Wege des Strahles, von dem Punkte in der Axe angefangen, von wo aus man die Winkel nahm, den genäherten Werth von n trigonometrisch zu berechnen, das Resultat der Rechnung mit dem der Messung zu vergleichen und hieraus auf die Verbesserung zu schließen, die an n vorzunehmen ist, um es auf den wahren Werth zu bringen. Zum Messen der genannten Winkel bedient man sich am besten eines Theodoliths, als leuchtendes Object nimmt man am besten kleine, runde, an der inneren Seite der Glastafel eines Fensters aufgeklebte Scheibchen aus schwarzem Papier mit einem Durchmesser von 1 — 3 L. Man thut gut, die Glastafeln von Außen mit feinem weißen Papier zu überziehen, um die Objecte hell und scharf genug zu sehen und das Fernrohr auf sie einstellen zu können. Die Linse befestigt man an ein Gestell, mittelst dessen man sie in horizontaler und verticaler Richtung etwas drehen kann. Sie soll wenigstens einen Durchmesser von 1 — 2 Zoll haben und es müssen sowohl ihre Krümmungshalbmesser als ihre Dicke genau bekannt sein. Man stellt sie immer so, daß die beiden an der Hinterfläche entstehenden Bilder in einem größten Durchschnitt des Glases und vom Rande gleich weit entfernt erscheinen. Man erhält die rechte Stellung leicht, indem man den Abstand der Bilder vom Rande mit dem Theodolith mißt. Daß die Objecte, der Theodolith und die Bilder in derselben Ebene liegen müssen, ist von selbst klar *). — Ein anderes Mittel giebt Maskelyne an. Man richte ein gutes dioptrisches Fernrohr auf einen sehr weit entfernten Gegenstand, z. B. auf den Mond, und stelle das Ocular so, daß man ihn deutlich sieht. Hierauf bringe man die Linse, ohne das Ocular zu verrücken, vor das Objectiv des Fernrohres und stelle in einiger Entfernung davon ein mit kleinen Lettern gedrucktes Buch auf, regulire dessen Entfernung von der Linse so, daß man es durch das Fernrohr lesen kann. In diesem Falle gelangen von jedem Punkte der Schrift parallele Strahlen ins Fernrohr und die Entfernung des Buches von der Linse ist deren Brennweite.

In der eben gegebenen Bestimmung des Brechungsexponenten, zu der wir noch hinzufügen wollen, daß, wenn man vor Anfertigung der Linse denselben für die

*) Wir geben nach Baumgartner, Naturlehre, Supplementband. Wien 1831. S. 436 das mathematische Detail dieses Verfahrens. — Es sei (s. umstehende Figur) eine

zu verwendende Glasmasse bestimmen will, man das im Art. Brechung des Lichtes Bd. I. S. 877 angegebene Verfahren benutzen kann, — waren die Halbmesser der Krümmungen als bekannt vorausgesetzt. Nun kennt diese zwar



beiderseits convexe Linse gegeben, L eines der zwei Objecte, welches den Strahl L K auf die Linse sendet, der in K gebrochen wird, nach B gelangt, daselbst eine Reflexion nach A und hier eine Brechung nach M erleidet, wo sich der Theodolith befindet. Das zweite Object Q giebt ein ähnliches Bild in der Richtung M P. Die zu messenden Winkel sind nun $QML = 2\alpha$, $AMP = 2\beta$. Die zu messenden Entfernungen, M E, welche nahe gleich M A ist, $= A$, $ML = MQ = B$. Aus der trigonometrischen Berechnung des Weges des Strahles von M aus ergeben sich folgende Gleichungen, bei denen die rechts stehenden nur kürzer ausgedrückte Werthe der links stehenden sind: (f und g sind die Radien der Linse)

1) Für die brechende Vorderfläche:

$$\sin CAD = \frac{CM \sin AMC}{CA} \qquad \text{d. h.} \quad \sin a = \frac{A + f}{f} \sin\beta$$

$$\sin MAD = \frac{\sin MAC}{n} \qquad \text{d. h.} \quad \sin a_1 = \frac{\sin a}{\mu}$$

$$ADC = MAx - AMD - CAD \qquad \text{d. h.} \quad \varphi = a - \beta - a_1$$

$$DC = \frac{CA \sin DAC}{\sin ADC} \qquad \text{d. h.} \quad D = \frac{f \sin a_1}{\sin\varphi}$$

2) Für die reflectirende Hinterfläche.

$$\sin HBD = \frac{HD \sin BDH}{HB} \qquad \text{d. h.} \quad \sin b = \frac{\sin\varphi\,(f + g - c + D)}{g}$$

$$BGD = ABG - BDG \qquad \text{d. h.} \quad b_1 = 2b - \varphi$$

$$HG = \frac{HB \sin HBG}{\sin HGB} \qquad \text{d. h.} \quad E = \frac{g \sin b}{\sin b_1}$$

3) Für die zum zweitenmale brechende Vorderfläche.

$$\sin GKC = \frac{GC \sin CGK}{KC} \qquad \text{d. h.} \quad \sin e = \frac{(f + g - c - E)}{f} \sin b_1$$

$$\sin LKy = n \sin GKC \qquad \text{d. h.} \quad \sin e_1 = n \sin e$$

$$HNK = NKC + NGK - GKC \qquad \text{d. h.} \quad \psi = e_1 + b_1 - e$$

$$NC = \frac{KC \sin NKC}{\sin KNC} \qquad \text{d. h.} \quad F = \frac{f \sin e_1}{\sin\psi}.$$

Die von L auf die Axe gezogene Senkrechte L O läßt sich nun aus dem Vorhergehenden berechnen, aber auch aus den gemessenen Werthen finden. Mittelst des letzteren Mittels hat man

$$LO = B \sin\alpha.$$

Mittelst des ersteren wird $On = OM + ME + EC - CN = B\cos\alpha + A + f - F$ bekannt, und daher ist auch

$$LO = ON \operatorname{tang}\psi = (B\cos\alpha + A + f - F) \operatorname{tang}\psi$$

als gegeben anzusetzen.

stets der Verfertiger der Linse, aber nicht immer sind sie demjenigen bekannt, der sich einer Linse bedienen will, daher man auf ein Mittel denken muß, dieselben aus der Untersuchung der Linse selbst zu entnehmen. **Boscovich** giebt folgendes Verfahren an. Man leite in ein verfinstertes Zimmer mittelst eines Heliostats einen horizontalen Lichtbüschel, befestige aber an der Oeffnung am Fenster ein Blatt feinen weißen Papieres und über dieses ein zartes Haar. Ist nun die zu prüfende Linse eine Concavlinse, so halte man sie in den Lichtbüschel und nähere sie dem Fenster so weit, bis das durch **Reflexion** entstandene Bild des Haares am Fensterladen neben demselben ganz deutlich und scharf erscheint. Da von einer hohlen Kugelfläche (als von einem Spiegel) die Strahlen nach dem Mittelpunkte der Kugel reflectirt werden; so ist folglich auch in dem eben angegebenen Falle die Entfernung der Hohlfläche vom Orte des Bildes der Halbmesser derselben. Bei einer doppelt converen Linse ist die Untersuchung in einer der angegebenen ähnlichen Art etwas schwieriger. Hier muß man das von der hinteren Fläche reflectirte Bild beobachten. Das Licht wird also auf der vorderen Fläche der Linse zum Theil gebrochen, zum Theil zerstreut; das gebrochene Licht geht durch das Glas bis zur hinteren Fläche und wird hier zum Theil zurückgeworfen. Dieses zurückgeworfene Licht wird beim Wiederaustritt aus der vorderen Fläche der Linse nochmals gebrochen, und sammelt sich nun erst zu einem durch Reflexion entstandenen Bilde. Dieses Bild fällt aber, obschon von der hinteren Fläche reflectirt, nicht in den Mittelpunkt der Kugel, von welcher jene Fläche ein Abschnitt ist, weil zweimalige Brechung die Richtung der Strahlen geändert hat. Das Brechungsverhältniß n des Glases muß bekannt sein, um jene Aenderung in Rechnung bringen zu können. Nennt man den Radius der einen converen Fläche r, den der anderen r', und die Entfernung des reflectirten Bildes, welches durch die Fläche von dem Radius r gebildet wird, b, die Entfernung des reflectirten Bildes, welches durch die Fläche von dem Radius r' gebildet wird, b', endlich die Brennweite der Linse p, so findet sich

$$n = \frac{(b + b')\,p - b\,b'}{(b + b')\,p - 2\,b\,b'}$$

und hat man n berechnet, so dienen die Formeln:

$$\frac{1}{b} = \frac{n - 1}{r} + \frac{n}{r'} \text{ und}$$

$$\frac{1}{b'} = \frac{n - 1}{r'} - \frac{n}{r}$$

um die Werthe von r und r' zu berechnen *).

Ist demnach für n der wahre Werth gewählt worden, so hat man

$$(B \cos \alpha + A + f - F) \operatorname{tang} \psi - B \sin \alpha = 0.$$

Hat man aber für diesen Ausdruck für einen Werth von n erhalten u, für n + dn aber u_1, so wird durch Interpoliren für den wahren Werth von n_1

$$n_1 = n + \frac{u\,dn}{n - u_1}.$$

Für concave Linsen gelten dieselben Formeln, wenn man den Halbmesser der hohlen Fläche negativ nimmt.

*) Eine besondere Schärfe gestattet das von **Stampfer** (**Baumgartner** a. a. O. S. 643) angegebene Verfahren, das auch auf der Reflexion des Lichtes beruht. Es ist

Der **Oeffnungsdurchmesser** und die **Dicke in der Mitte** einer Linse können unmittelbar mit dem Zirkel gemessen werden. Die letztere läßt sich aber auch durch Rechnung aus der (gemessenen) Randdicke und den Halbmessern bestimmen. Ist in nebenstehender Figur die Randdicke der Linse a b, ihre Dicke in der Mitte f h, so ist $fh = ab + (fg + eh)$. Heißen die Halbmesser R und r, die Oeffnung x, so ist $fg = \frac{1}{2}\frac{x^2}{R}$, $he = \frac{1}{2}\frac{x^2}{r}$; folglich $fg + he = \frac{1}{2} x^2 \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$; und wenn die gemessene Randdicke P heißt, so ist die

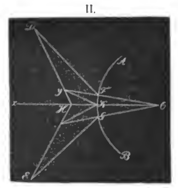
I.

gesuchte Dicke in der Mitte $= P + \frac{1}{2} x^2 \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$.

---

demjenigen ähnlich, wodurch man das Brechungsverhältniß einer Linse bestimmt, und unterscheidet sich von demselben nur dadurch, daß man hier nur die durch Reflexion an der vorderen Glasfläche entstehenden Bilder mißt. Um es zu verstehen, sei A B in nebenstehender Figur ein Durchschnitt der zu untersuchenden sphärischen Fläche, C ihr Mittelpunkt, D und E zwei Objecte, die ihr Licht auf A B senden und wovon die von F und G reflectirten Strahlen nach H gesendet werden, wo sich ein Theodolith befindet, in dessen Fernrohr die Strahlen F H und G H gelangen können. Liegen nun die Punkte D, F, G, E, H in derselben Ebene, D und E von H gleich weit entfernt, so daß H D = H E ist, und mißt man mittelst des Theodoliths die Winkel $EHD = 2 DHx = 2\alpha$, $FHG = 2 FHC = 2\beta$, so kann man daraus mittelst der Entfernung $DH = A$, und $HK = B$ den doppelten Einfallswinkel $HFy = 2D$ und mittelst desselben den Halbmesser $CK = \varrho$ berechnen.

II.



Es ist nämlich, wenn man annäherungsweise $HF = HK$ setzt:

$$HF : HD = \sin HDF : \sin HFD$$

oder

$$B : A = \sin(\alpha + \beta - 2\gamma) : \sin 2\gamma$$

und hieraus

$$\tang 2\gamma = \frac{A \sin(\alpha + \beta)}{B + A \cos(\alpha + \beta)}$$

ferner

$$HF : FC = \sin FCH : \sin FHC$$

oder

$$B : \varrho = \sin(\gamma - \beta) : \sin \beta$$

und daraus

$$\varrho = \frac{B \sin \beta}{\sin(\gamma - \beta)}.$$

Diese Methode ist auf alle Linsen anwendbar, deren Halbmesser nicht viel unter 2 Z. ist, für kleinere läßt sie sich, wie sie hier dargestellt wurde, nicht mehr anwenden. Die Linse wird aufgestellt, wie es oben bei Ermittelung des Brechungsexponenten nach **Stampfer's** Methode gelehrt wurde, und die Wahl der leuchtenden Punkte wird ebenfalls nach der dort angegebenen Weise getroffen.

Während man früher die Dicke der Linsen in den aufgestellten Theorien immer vernachlässigte, hat man in neuerer Zeit auch auf diese gebührende Rücksicht genommen; wir müssen indessen hier uns mit dem Hinweise auf ein größeres diesen Gegenstand behandelndes Werk begnügen und empfehlen in dieser Beziehung: Grunert, Optische Untersuchungen. Leipzig 1846. Bd. I. 1847. Bd. II. 1851. Bd. III.

Eben so muß man streng genommen auch die Abweichung wegen der Kugelgestalt oder die sphärische Abweichung (s. d. Art. Bd. I. S. 99) berücksichtigen. Da wir aber, eben um nicht in zu verwickelte mathematische Untersuchungen zu gerathen, oben nur unter gewissen Einschränkungen die Wirkung der Linsen bestimmt haben, so möge auch für diesen Punkt auf Grunert's Werk verwiesen sein.

In unserer Ableitung der Formeln über die Wirkung der Linsen ist ein allgemeiner Brechungsexponent vorausgesetzt. Wir wissen aber, daß, wenn wir weißes Licht von einem Gegenstande durch ein Prisma gehen lassen, dasselbe so zerlegt wird, daß eine Reihe, einander nur zum Theil deckender farbiger Bilder entsteht (s. Art. Brechbarkeit Bd. I. S. 866. Farbe Bd. III. S. 23). Nun haben wir aber schon oben die Wirkung der Linsen auf die des Prisma zurückgeführt, und folglich ist es natürlich, daß wir auch in Bezug auf die Farbenerscheinungen eine ähnliche Wirkung der Linsen wie der Prismen gewahren. Welchen Erfolg dies hat, wenn man von einem leuchtenden Punkte, der weißes Licht aussendet, das Licht durch eine Linse gehen läßt, dies ist bereits im Artikel Abweichung wegen der Brechbarkeit, chromatische Abweichung Bd. I. S. 100 nachgewiesen. Nehmen wir nun statt eines Punktes einen Gegenstand AB in beistehender Figur, so entsteht hinter der convexen Linse CD nicht, wie bisher angenommen wurde, Ein Bild des Gegenstandes, sondern unzählige von verschiedener Größe eines hinter dem anderen, unter denen man 6 oder 7 als von verschiedener Farbe unterscheiden kann. Die Ränder dieser Bilder liegen nicht in gerader Linie. Das am weitesten abstehende ist das rothe rr' und dies ist das größte, das der Linse nächste ist das violette vv' und dies ist das kleinste; zwischen diesen beiden liegen die übrigen. Aus dem Begriffe des Abweichungskreises (s. Art. Abweichung a. a. O.) folgt, daß sich diese Bilder in der Mitte decken, daß hier also alle Farben wieder zu weiß geeint sind, während am Rande der gelbe und rothe Rand merklich die übrigen Farbenbilder überragen. So kommt es denn, daß jedes durch eine convexe Linse von einem Gegenstande erzeugte physische Bild diesen zwar in seinen natürlichen Farben zeigt, aber äußerlich umgeben von einem rothgelben Saume, sobald das von dem Gegenstande ausgehende Licht nicht einfach ist. Wenn das Bild des Gegenstandes kein physisches, sondern ein mathematisches wäre, also vor der convexen Linse erschiene, so müßte in Betreff des farbigen Randes das Umgekehrte stattfinden, weil nun das rothe Bild der Linse näher steht und das kleinere ist, so daß das am weitesten abstehende und größte violette Bild über die anderen hervorragen und einen bläulich violetten Saum erzeugen muß.



Dieselbe Wirkung haben auch die concaven Linsen; da aber — wie wir oben gesehen haben — durch dieselben nur mathematische Bilder erzeugt werden, die vor der Linse innerhalb der Brennweite zu liegen scheinen, und die violetten Strahlen, als die brechbarsten, ein der Linse näher liegendes Bild geben, als die weniger brechbaren rothen Strahlen, so ist das rothe Bild das größte und das Gesammtbild erscheint daher in einem gelblich rothen Saume.

Es scheint hieraus klar, daß man durch eine Combination aus einer convexen und einer concaven Linse von demselben Glase und derselben Krümmung die farbigen Säume der Bilder ganz wegbringen kann; da jedoch durch die concave Linse die in dem Brennpunkte der convexen sich vereinigenden Strahlen wieder eben so stark divergent gemacht werden, als durch die convexe convergent, so ist auch klar, daß die durch eine solche Combination gehenden Strahlen ihre ursprüngliche Richtung wieder erhalten müssen, d. h. daß eine solche Combination nur wie ein Parallelglas wirkt, also nicht mehr die Wirkung hat, welche man von Linsen gerade verlangt. Wollte man nun der concaven Linse eine andere Krümmung geben als der convexen, so würde zwar wieder eine linsenartige Wirkung erzielt werden, aber auch die farbigen Säume würden wieder auftreten. Newton, dem die Farbenlehre (s. Art. Farbe und Farbenringe Newton's) ihre Gestaltung zu danken hat, hielt es nun, wahrscheinlich weil er nur mit ein und derselben Glassorte experimentirte, für unmöglich die Farbensäume bei Linsen wegzubringen, in der Meinung, daß alle Substanzen eine mit dem Brechungsverhältnisse im Verhältniß stehende Farbenzerstreuung hätten, d. h. daß je größer das Brechungsvermögen eines Körpers, in demselben Maaße auch die durch denselben bewirkte Farbenzerstreuung größer sei. Glücklicher Weise ist dem nicht so, sondern bei gleichem Brechungsverhältnisse zeigen sich verschiedene Zerstreuungsverhältnisse bei den verschiedenen Substanzen, worüber Art. Brechbarkeit Bd. I. S. 871 die näheren Angaben enthält; folglich wird es möglich sein durch Combinationen von convexen und concaven Linsen aus verschiedenen Substanzen eine linsenartige Wirkung zu erzielen und dabei die Farbensäume, wenn nicht ganz, so doch theilweise zu beseitigen und somit die Linsen brauchbarer zu machen, als es sonst der Fall sein würde.

Um dies deutlich zu machen, wollen wir zunächst die Combination zweier Prismen betrachten, welche einen hindurchgehenden Lichtstrahl zwar aus seiner Richtung ablenkt, aber keine Farbenzerstreuung zeigt. — Ein solches Prisma nennt man ein achromatisches, d. h. farbloses und die Beseitigung der farbigen Säume den Achromatismus. — Denken wir uns zwei Prismen K und F in beistehender Figur



aus verschiedenen Substanzen mit den brechenden Winkeln in entgegengesetzter Lage an einander gelegt, so erleidet ein durch beide hindurchgehender Lichtstrahl eine entgegengesetzte Brechung und eben so entgegengesetzte Farbenzerstreuungen. Besteht nun F aus einer Substanz, welche das Licht in bedeutend stärkerem Verhältnisse zerstreut, als die Substanz von K, so muß der brechende Winkel von F kleiner sein, als der von K, wenn in beiden Prismen die Farbenzerstreuung dieselbe sein soll. Bricht nun F das Licht eben so stark als K oder nur wenig stärker, so wird bei der großen Verschiedenheit der brechenden Winkel die Ablenkung des Lichtstrahles in K nicht vollständig aufgehoben werden

durch die nicht so große Ablenkung in F, obgleich diese der vorhergehenden entgegengesetzt wirkt. Es wird mithin noch Brechung stattfinden, während die Farbenzerstreuung aufhört, sobald diese nicht nur im Ganzen, sondern auch in den einzelnen Farben des Spectrums übereinstimmt. Ist z. B. K aus Kronglas, dessen Brechungsexponent 1,533 ist, und F aus Flintglas, welches den Brechungsexponenten 1,642 hat; so muß, da die totale Zerstreuung des Flintglases 2,089 Mal größer ist, als die des Kronglases, wenn der brechende Winkel des Kronglases z. B. 30^0 beträgt und der des Flintglases $\frac{30^0}{2,089} = 19^0$ ist, die Farbenzerstreuung gehoben sein, während bei der großen Differenz der brechenden Winkel 30^0 und 19^0 und den nur wenig verschiedenen Brechungsexponenten noch eine Brechung eintreten wird.

Erhalten die Spectren in beiden Prismen gleiche Breite, so decken sich jedenfalls die Randstrahlen, aber damit ist noch nicht der Achromatismus der mittleren Strahlen nothwendig verbunden; denn dies setzt voraus, daß die Strahlen im Spectrum des Flintglases in demselben Verhältnisse wie bei dem Kronglase vertheilt seien. Dies ist nicht der Fall *), folglich kann auch die Aufhebung der Farbenzerstreuung durch zwei solche Prismen nicht vollkommen sein.

Bei einer Linse läßt sich nun die Farbenzerstreuung auf ähnliche Weise heben, wie bei dem Prisma, da die Linsen als Aggregate von Prismen betrachtet werden können, die bei convexen Linsen mit dem brechenden Winkel nach der Peripherie, bei concaven mit demselben nach dem Centrum zu liegen. Setzt man also eine convexe Linse aus Kronglas mit einer concaven aus Flintglas zusammen (s. beistehende Figur), so wird die Convergenz der Strahlen, welche erstere bewirkt, durch letztere kleiner, aber es bleibt, wenn die Linsen derartig sind, daß man dieselben z. B. als Prismen von 30° im Kronglase und von 19° im Flintglase ansehen könnte, d. h. wenn die entsprechenden Stellen der Kron- und Flintglaslinsen im richtigen Verhältnisse geschliffen sind, noch Convergenz und die Farbenzerstreuung ist vermindert.



Solche Linsen nennt man achromatische. Die äußersten rothen und violetten Strahlen werden dadurch in einem Punkt vereinigt, aber es bleibt immer noch eine Abweichung der mittleren Strahlen übrig, deren Beseitigung noch eine dritte Linse erforderlich macht. Auf die mathematische Theorie können wir hier nicht eingehen, weshalb wir nochmals auf das Werk von Grunert verweisen, welches im zweiten Theile die Theorie der achromatischen Objective für Fernröhre behandelt, von §. 37. S. 257 an die dreifachen achromatischen Objective der Untersuchung unterwirft, im dritten Theile die Theorie der zweifachen achromatischen Objective und die Theorie der zweifachen achromatischen Oculare liefert, und im Verlaufe der Entwickelung auch die literarischen Nachweise enthält, welche hier in Betracht zu ziehen sind. Wir bemerken hier nur noch, daß bei dem Durchgange durch drei Linsen das Licht nothwendig mehr geschwächt.

*) Vergl. Art. Brechbarkeit. Bd. I. S. 869.

wird, als bei der Anwendung von blos zwei Linsen, daß man daher gewöhnlich bei zweifachen Objectiven stehen bleibt. Seit Peter Dollond sind vielleicht auch keine dreifachen achromatischen Objective mehr verfertigt worden. — Man kann übrigens auch zwei Convergläser bei zweckmäßiger Krümmung in einem gewissen Abstande so gegen einander aufstellen, daß sie achromatisch wirken (s. Art. Mikroskop).

Um den Achromatismus optischer Gläser zu prüfen, empfiehlt Goring *) als das passendste Object ein kleines Quecksilberkügelchen auf einem vollkommen schwarzen oder nicht polirten Grunde, in welchem man ein Licht oder die Sonne oder auch blos das Fenster sich abspiegeln läßt. Man betrachtet dies mittelst des zu prüfenden Glases, innerhalb und außerhalb des Focus, und sieht zu, ob es dabei Farben zeigt.

Das Geschichtliche des Achromatismus bietet manche anziehende Punkte dar, und da im Art. Fernrohr Bd. III. S. 108 ff. hierauf nicht speciell eingegangen werden konnte, so ergänzen wir dies hier.

Newton hielt den Achromatismus für unmöglich, wie bereits bemerkt worden ist, und deshalb empfahl er statt der Fernröhre mit Ocular- und Objectivlinsen die Spiegelteleskope, denen er den größten Grad der Vollkommenheit zu geben suchte. Indeß ohne die, wie sich später zeigte, unrichtige Annahme Newton's zu widerlegen, sprach doch Euler die Vermuthung aus, daß durch gewisse Zusammensetzungen verschiedener Mittel eine Aufhebung der Farbenerscheinung möglich sein müsse, indem im menschlichen Auge, in welchem doch ebenfalls Brechung durch eine Linse stattfände, die Gegenstände nicht mit Farbenrändern umgeben scheinen, welches keine andere Ursache haben könne, als diese, daß die verschiedenen Flüssigkeiten im menschlichen Auge so geordnet wären, daß durch dieselben die Ausbreitung und Zerstreuung der Vereinigungspunkte gänzlich aufgehoben würden. Diesen letzten Satz hat zwar Maskelyne **) zu widerlegen gesucht, indeß wurde die Möglichkeit der Herstellung von Linsengläsern ohne Farbenzerstreuung, sogenannter achromatischer Linsen bald durch die Ausführung selbst bestätigt. Die Unrichtigkeit der Newton'schen Behauptung wurde von Klingenstierna ***) dargethan, und gezeigt, daß verschiedene Stoffe nicht in demselben Verhältniß, in welchem sie das Licht ungleich brechen, auch Farbenzerstreuung bewirkten. Der Engländer John Dollond, der schon einmal, aber vergeblich, nach Euler's Vorschlage achromatische Linsen zu construiren versucht hatte, stellte nun zum zweiten Male in dieser Beziehung Versuche an und kam durch dieselben zur Erfindung der achromatischen Linsen und Fernröhre. Er nahm zwei Glasstreifen, kittete sie an ihren Rändern so zusammen, daß daraus ein prismatisches Gefäß entstand, wenn die Oeffnungen an den Grundflächen verschlossen wurden. Die Schärfe kehrte er unterwärts, stellte in das Gefäß ein gläsernes Prisma mit einer seiner Schärfen aufwärts und füllte den übrigen Raum mit Wasser an. So wie er fand, daß das Wasser das Licht mehr

*) Brewster's Edinb. phil. Journ. 1831. Jul. 68.

**) Gilbert's Ann. Bd. XVII. S. 328; Bd. XXX. S. 220.

***) Abhandlungen der Schwed. Akad. Jahrg. 1754.

oder weniger als das Glas brach, so verminderte oder vergrößerte er den Winkel der Glasscheiben, bis er beide Brechungen einander gleich fand, welches geschah, wenn ein Object durch das doppelte Prisma betrachtet weder sich zu erhöhen noch zu senken schien. In diesem Falle waren die Brechungen sich gleich und die ausfahrenden Strahlen den einfahrenden parallel. Nach Newton hätte nun mit der Ablenkung durch Brechung zugleich die Farbenzerstreuung aufgehoben sein müssen; das Object hätte in seinen natürlichen Farben erscheinen müssen. Dies war aber nicht der Fall, sondern das Object erschien eben so stark mit Farbensäumen umgeben, als wenn es durch ein Prisma mit einem brechenden Winkel von etwa 30° betrachtet worden wäre. Nun suchte Dollond umgekehrt eine Brechung ohne Farbenzerstreuung zu bewerkstelligen, welches ihm in folgender Weise gelang. Er schliff ein Glas aus gemeinem Tafelglase so, daß der Winkel desselben etwa 9 Grad betrug, stellte dieses wie vorher in ein keilförmiges Gefäß mit Wasser, dessen Winkel er so lange vergrößerte, bis die Zerstreuung des Lichtes durch das Wasser so groß war, als die durch das Glas, d. h. bis das Object, ungeachtet es wegen der stärkeren Brechung durch das Wasser sehr verrückt erschien, dennoch von den Farben, welche die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes erzeugt, frei blieb. Nun machte Dollond die Bemerkung, daß auch verschiedene Glassorten das Licht in anderen Verhältnissen brechen, als sie Zerstreuung in Farben bewirken. Namentlich fand er, daß Kronglas das Licht am wenigsten, weißes Flintglas dagegen am meisten zerstreut, obgleich die Brechungen beider Glasarten fast gleich sind. Dollond stellte daher zuerst ein achromatisches Prisma aus Kron- und Flintglas her, wovon jenes einen brechenden Winkel von 30°, dieses einen Winkel von 19° hatte. Im Jahre 1758 vollendete Dollond das erste achromatische Fernrohr; leider starb er aber bereits 1761. — Historisch merkwürdig ist übrigens, daß bereits 1729 oder 1733 Chester More Hall aus Essex Doppelobjective schleifen ließ, zu denen er die Halbmesser angab und durch welche er nicht nur die Abweichung wegen der sphärischen Gestalt der Gläser, sondern auch die Farbenzerstreuung beseitigen wollte. Er brachte auch Objective zu Stande, aber erst als Dollond mit seinen Instrumenten auftrat, wurden seine Bemühungen bekannt *). Ueber Blair's und Barlow's Bemühungen Achromatismus dadurch zu erreichen, daß eine mit Flüssigkeit gefüllte Linse der Glaslinse beigefügt wurde, vergl. Art. Fernrohr Bd. III. S. 115.

Viele Versuche über Stoffe, welche sich zu achromatischen Apparaten anwenden lassen, sind von Brewster angestellt worden. Derselbe hat die untersuchten Stoffe in einer Tabelle zusammengestellt, so daß je zwei dieser Stoffe zusammen ein secundäres Spectrum mit vorherrschendem Grün geben, und daß dieses Spectrum um so größer erscheint, je weiter die zwei Körper in dieser Tabelle von einander abstehen. Je näher bei einander je zwei dieser Stoffe in der Tafel stehen, desto tauglicher sind sie zu achromatischen Apparaten. Die Tafel ist folgende:

---

*) Gilbert's Ann. Bd. XXXIV. S. 243. Philos. Magaz. 1829. p. 233. Edinburgh Encyclop. T. XX. p. 479.

Stoffe.	Stoffe.
1) Schwefelsäure.	45) Nußöl.
2) Phosphorsäure.	46) Sebenbaumöl.
3) Schweflige Säure.	47) Rautenöl.
4) Phosphorige Säure.	48) Buchelöl.
5) Schwefelwasserstoffsäure.	49) Salpeter.
6) Wasser.	50) Diamant.
7) Eis.	51) Harz, gemeines.
8) Weißes vom Ei.	52) Copalgummi.
9) Bergkrystall.	53) Castorfett.
10) Salpetersäure.	54) Chamillenöl.
11) Blausäure.	55) Dillsamenöl.
12) Salzsäure.	56) Wermuth.
13) Salpetrige Säure.	57) Majoranöl.
14) Essigsäure.	58) Bergamotöl.
15) Apfelsäure.	59) Pfeffermünzöl.
16) Zitronensäure.	60) Thymianöl.
17) Flußspath.	61) Muscatnußöl.
18) Topas (blauer).	62) Feldkümmelöl.
19) Beryll.	63) Limoniöl.
20) Selenit.	64) Bernstein.
21) Leucit.	65) Frauenmünzöl.
22) Turmalin.	66) Hyssopöl.
23) Borax.	67) Mohnöl.
24) Boraxglas.	68) Flohkrautöl.
25) Aether.	69) Salbeiöl.
26) Alkohol.	70) Terpentinöl.
27) Arabisches Gummi.	71) Canadabalsam.
28) Kronglas.	72) Lavendelöl.
29) Mandelöl.	73) Salzsaurer Spießglanz.
30) Weinsteinsaures Kali und Soda.	74) Gewürznelkenöl.
31) Wachholdergummi.	75) Fenchelsamenöl.
32) Steinsalz.	76) Rothes Glas.
33) Kalkspath.	77) Orangefarbiges Glas.
34) Bernsteinöl.	78) Opalfarbiges Glas.
35) Wachholderöl.	79) Bleizucker, geschmolzen.
36) Spermacetöl.	80) Ambra.
37) Rübsöl.	81) Sassafrasöl.
38) Olivenöl.	82) Kümmelöl.
39) Zirkon.	83) Anissamenöl.
40) Flintglas.	84) Bittermandelöl.
41) Rhodiumöl.	85) Kohlensaures Blei.
42) Roßmarinöl.	86) Tolubalsam.
43) Bocksbornöl.	87) Schwefelalkohol.
44) Copaivabalsam.	88) Schwefel.
	89) Ricinusöl.

Die Achromatistrung führt uns nochmals zu der Abweichung wegen der Kugelgestalt, über welche wir zwar oben bereits die nöthigen Hinweisungen gegeben haben, für deren Beseitigung sich aber jetzt eine Möglichkeit übersehen läßt, so daß wir dies nicht mit Stillschweigen übergehen können. Wenn wir mit Hülfe einer Linsencombination im Stande sind die verschiedenen Brennweiten der verschiedenen Farben zum Zusammenfallen zu bringen; sollte es da nicht auf gleichem Wege zu erreichen sein die von einem Punkte ausgehenden Strahlen auch — statt in eine Brennlinie — in einen Brennpunkt zu concentriren? Nach Herschel d. J. ist diese Abweichung durch zwei verbundene dünne, sich berührende Linsen in der That gänzlich zu beseitigen, und er hat dafür Formeln und Beispiele für die Rechnung angegeben, nach denen die Verhältnisse der Radien zu diesem Zwecke zu bestimmen sind. Gleichzeitig weist er nach, daß bei einem einzelnen Glase, sowohl bei einem biconvexen als biconcaven die Abweichung wegen der Kugelgestalt möglichst klein wird, wenn der Halbmesser der Hinterfläche 6 bis 7 Mal so groß als der Halbmesser der Vorderfläche ist. Gläser, welche von der sphärischen und chromatischen Abweichung frei sind, nennt man übrigens (s. Art. Fernrohr Bd. III. S. 115) aplanatische *). Herschel hat eine kleine Tafel berechnet, welche die den verschiedenen Zerstreuungsverhältnissen angemessenen Halbmesser angiebt, und Barlow hat dieselbe vervollständigt. Hiernach kann man in jedem einzelnen Falle die vorzüglich brauchbare Gestalt der Gläser bestimmen **).

In neuerer Zeit hat Kellner in Wetzlar in seinem orthoskopischen Oculare eine achromatische Linsencombination zu Stande gebracht, welche dem astronomischen Fernrohre, mit Einschluß des dialytischen Rohrs, und dem Mikroskope, bei einem sehr großen Gesichtsfelde ein vollkommen ungekrümmtes, perspectivisch richtiges, seiner ganzen Ausdehnung nach scharfes Bild ertheilt, so wie auch den blauen Rand des Gesichtsraumes aufhebt ***)

In Betreff der anderen Stoffe, welche man neben dem Glase zu Linsen verwendet hat, sei bemerkt, daß Pritchard aus Diamanten und aus Saphiren Linsen geschliffen hat. Diese Edelsteine haben ein stärkeres Brechungsvermögen als Glas, und man kann daher aus ihnen Linsen nach größeren Halbmessern schleifen, die eben so viel leisten wie Glaslinsen mit kleineren Halbmessern, während die mit der Größe der Halbmesser zusammenhängende Abweichung wegen der Kugelgestalt geringer ist. Der hohe Preis dieser Edelsteinlinsen steht indessen der ausgebreiteteren Einführung im Wege. Linsen aus Bergkrystall sind häufiger und Cauchoix hat solche zu achromatischen Gläsern statt des Kronglases benutzt. Fernröhre mit solchen Objectiven sollen sich bei gleicher Deutlichkeit und größerer Helligkeit durch geringere Länge auszeichnen ****).

*) Phil. Transact. for 1821. p. 246.

**) Man findet diese Tafel nebst einer Anleitung zum Gebrauche und zugleich nähere Angaben über das Schleifen und Poliren der Gläser in: Prechtl's praktische Dioptrik, als vollständige und gemeinfaßliche Anleitung zur Verfertigung achromatischer Fernröhre. Wien 1828.

***) Kellner, das orthoskopische Ocular. Braunschweig 1849. Die Schrift enthält jedoch nicht die Zergliederung der Einrichtung dieses Oculars und die Entwickelung der Grundprincipien, auf welche der gute Erfolg sich gründet, sondern berichtet nur über die Leistungen des Oculars.

****) Schweigger's Journ. Bd. LX. S. 67. Fechner's Repert. Bd. II. S. 179.

C. Anwendung der Linsengläser.

Die Linsengläser werden entweder einzeln oder in Combinationen zu zweien und mehreren angewendet. Es handeln hiervon besondere Artikel und verweisen wir deshalb auf Art. Brennglas Bd. I. S. 906; Brillen Bd. I. S. 912; Camera obscura Bd. I. S. 933; Fernrohr Bd. III. S. 96; Mikroskop, welcher auch von den Loupen handelt; Zauberlaterne.

Lithium, ein einfacher Körper zur Gruppe der Alkalimetalle gehörend. Chemisches Zeichen: Li. Aequivalent = 81,66 (O = 100) oder 6,5 (H = 1). Das Metall kommt in der Natur als solches nicht vor, sondern nur die Verbindung desselben mit Sauerstoff und zwar in sehr geringen Mengen. Aus dem Lithiumoxydhydrat wurde das Metall mit Hülfe der Volta'schen Säule von Davy *) und Brande **) 1818 dargestellt, nachdem Arfvedson ***) ein Jahr vorher bei der Untersuchung verschiedener schwedischer Mineralien aufmerksam gemacht durch einen bedeutenden Verlust, der sich bei der Analyse des einfach zusammengesetzten Petalit herausstellte, die eben genannte Verbindung im Laboratorium von Berzelius entdeckt hatte. Er sowohl, wie Gmelin ****) versuchten vergebens das Metall daraus zu gewinnen; eben so wenig gelangte Kralovanszky *****) bei der Anwendung von Eisen, Kohle oder Kalium als Reductionsmittel zum Ziele.

Wegen der Seltenheit der Lithiumverbindungen und mehr noch wegen der schwierigen Darstellung des Metalles aus diesen waren unsere Kenntnisse über das Lithium lange Zeit sehr beschränkt. Es sollte im Allgemeinen dem Natrium gleichen und sich sehr leicht oxydiren. Erst in ganz neuester Zeit haben wir durch Bunsen, dessen Ideen durch Matthiessen zur Ausführung gebracht worden sind, nähere Aufschlüsse darüber erhalten †). Sie haben gefunden, daß gerade das Lithium unter allen anderen ähnlichen Metallen am leichtesten auf elektrolytischem Wege gewonnen werden kann und zwar aus der Verbindung mit Chlor, die in einem möglichst dickwandigen kleinen Porzellantiegel über der Berzeliuslampe geschmolzen wird. Zur Reduction genügen 4 bis 6 Kohlenzinkelemente. Der Strom geht von einer Spitze aus Gaskohle durch das geschmolzene Chlorür in einen stecknadeldicken Eisendraht.

Am besten gelingt die Abscheidung des Metalles, wenn man die Dichte des Stromes außerordentlich steigert. Die dazu dienende Vorrichtung ist folgende. Einen kleinen Tiegel und eine kleine Thonzelle füllt man mit dem völlig wasserfreien, etwas Salmiak enthaltenden Chlorür so an, daß in der Thonzelle, wenn das Chlorür geschmolzen ist, das Niveau viel höher steht, als in dem Tiegel. Der äußere, die Thonzelle umgebende Chlorpol wird durch einen Eisenblechcylinder, der Metallpol durch einen nicht bis zum Boden der Thonzelle reichenden dickeren Eisendraht gebildet. Dieser steckt in einem Stücke eines irdenen Pfeifenstieles, aus

*) Gilbert's Ann. Bd. LIX. S. 244.
**) Scherer's Ann. Bd. VIII. S. 120.
***) Schweigger's Journ. Bd. XXI. S. 44. Bd. XXII. S. 99.
****) Gilbert's Ann. Bd. LXII. S. 418.
*****) Schweigger's Journ. Bd. LIV. S. 233.
†) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 107.

dem das nur 2 Linien lange Ende eines feinen Clavierfaitendrahtes hervorragt, das mit dem dicken Drahte verbunden ist. Unter dem geschmolzenen Chlorlithium sammelt sich das Metall zu einem silberweißen Regulus, der dem Drahte anhängt. Man hebt ihn mittelst eines kleinen eisernen flachlöffelförmig vertieften Spatels aus dem geschmolzenen Chlorlithium heraus, wobei er von letzterem firnißartig überzogen bleibt, und kühlt ihn in Steinöl ab. In kurzer Zeit kann man eine Unze Chlorlithium reduciren, da man alle 3 Minuten ein Metallkorn von der Größe einer kleinen Erbse erhält.

Das Lithium hat die Farbe des Silbers und läuft auf der frischen Schnittfläche etwas gelblich an, während der Strich des Lithiums auf dem Probirsteine grau ist. Der Schmelzpunkt liegt bei 180°. Wird das geschmolzene Metall zwischen zwei Glasflächen schnell gepreßt, so bildet es eine Spiegelbelegung, die an Farbe und Glanz vollkommen dem polirten Silber gleich kommt. Bei einer Temperatur über 180° entzündet sich das Metall und verbrennt mit einem weißen, sehr intensiven Licht, ohne Funkensprühen, wobei es jedoch eine sehr große Hitze verbreitet. In der Rothglühhitze verflüchtigt es sich noch nicht.

Es ist sehr zähe und läßt sich wie Blei zu Draht ziehen; bei gewöhnlicher Temperatur kann es durch Zusammendrücken geschweißt werden. Unter allen festen Körpern ist das Lithium der leichteste (spec. Gew. = 0,5936), so daß es selbst auf Steinöl schwimmt. Es oxydirt sich weniger leicht als Kalium und Natrium. In Chlor, Sauerstoff, Brom und Joddampf, auf kochendem Schwefel verbrennt das Lithium gleichfalls mit außerordentlichem Glanz und blendend weißem Licht; eben so verhält es sich in trockener Kohlensäure. Auf Wasser oxydirt es sich wie Natrium ohne zu schmelzen. Auf rauchender Salpetersäure kommt das Lithium oft zum Brennen; Salzsäure und verdünnte Schwefelsäure lösen es unter stürmischer Gasentwickelung, concentrirte Schwefelsäure jedoch nur langsam auf. Kieselerde, Glas und Porcellan werden vom Lithium schon unter 200° reducirt.

Man kennt nur eine Verbindung dieses Metalles mit Sauerstoff, nämlich das Lithiumoxyd (LiO), auch Lithion, von λίθειος, steinern, abgeleitet, um dadurch auf die erste Entdeckung im Mineralreich hinzuweisen, während die anderen Verbindungen bei den Alkalien zuerst in organischen Gebilden aufgefunden worden sind. Wegen der großen Aehnlichkeit dieses Namens mit dem des Metalles ist es wohl zweckmäßiger nach der Analogie von Natron das Alkali Lithon zu nennen. Diese Verbindung findet sich in sehr geringen Mengen in verschiedenen Mineralien enthalten. Petalit (kieselsaure Thonerde und kieselsaures Lithon und Natron), in welchem das Alkali zuerst entdeckt wurde, enthält 2,66 bis 5,76 Proc., Spodumen (dieselben chemischen Bestandtheile, wie das erstere Mineral enthaltend) 2,9 bis 8,85 Proc., Lepidolith (Lithonglimmer; kieselsaure Thonerde, Eisenoxyd, Manganoxyd, Fluorkalium, Fluorlithium (?) 1,6 bis 5,67 Proc., Triphyllin (phosphorsaures Eisenoxydul, Manganoxydul und Lithon) 3,4 bis 8,2 Proc., Amblygonis bis zu 11 Proc. und Turmalin 2,04 bis 5 Proc. Wir bemerken hier jedoch, daß die hohen Angaben zumeist älteren Untersuchungen entnommen sind, bei denen man auf den gleichzeitigen Natrongehalt der Mineralien nicht gebührend Rücksicht genommen hat. Zu diesen Mineralien ist in neuerer Zeit noch der Kastor getreten, ein für Quarz gehaltenes Mineral aus dem Granit von Elba (kiesel-

saure Thonerde und kieselsaures Lithon), mit 2,76 Proc. Lithon. In bei weitem geringeren Mengen kommt das Lithon auch in sehr vielen Mineralwässern vor (Karlsbad, Franzensbad, Marienbad, Pyrmont, Hofgeismar, Kissingen, Hall in Oesterreich, Mönchshofen, Bilin, Klausen in Steiermark, Hohenstein, Kreuznach, Lavey bei Bex, Slintsch in Ungarn).

Das Lithon stellt man zumeist aus dem Lepidolith dar, der besonders häufig in Mähren vorkommt. Um die Kieselsäure abzuscheiden, mischt man das geschlämmte Mineral mit dem doppelten Gewicht Kalk und glüht dann stark. Die gepulverte Masse löst man in einem Gemisch von Salz- und Schwefelsäure auf, dampft die Lösung zur Trockne ein und entfernt den Ueberschuß der Schwefelsäure durch Glühen. Durch Wasser zieht man das schwefelsaure Lithon neben schwefelsaurer Thonerde und Gyps aus, von denen die erstere durch Digestion mit Kreide, der letztere durch oxalsaures Ammoniak entfernt wird. Lepidolith, Spodumen und Petalit werden nach Joß *) einfach durch Digestion mit concentrirter Schwefelsäure in Steingutgefäßen aufgeschlossen und dann die Schwefelsäure verjagt. Die Masse zieht man mit Wasser aus, versetzt die Lösung mit Ammoniak, filtrirt, dampft ab und glüht. Neben dem schwefelsauren Lithon bleibt gleichfalls schwefelsaures Kali oder Natron zurück. Die Schwerlöslichkeit des kohlensauren Lithons giebt uns ein Mittel, die letzteren Alkalien zu entfernen. Zu dem Ende entfernt man die Schwefelsäure durch essigsauren Baryt und verwandelt die essigsauren Salze durch Glühen in Kohlensäure. Aus der concentrirten Lösung der letzteren scheidet sich das kohlensaure Lithon aus, das durch Abwaschen mit kaltem Wasser gereinigt wird. Die Mutterlauge dampft man zur Trockne ab und entfernt daraus die leichter löslichen kohlensauren Salze durch kaltes Wasser. Die Gewinnung des Lithons durch Aufschließen der Mineralien mittelst concentrirter Schwefelsäure ist darum der durch Glühen mit Kalk oder Baryt vorzuziehen, weil bei der letzteren Operation die Gefäße aus Platin und Silber durch das Lithon bedeutend angegriffen werden. Bei allen Mineralien, die Lithon enthalten, ist aber leider die erstere Methode nicht anwendbar.

Nach Fuchs **) stellt man das Lithon aus dem Triphyllin, der besonders am Rabenstein unweit Bodenmais in Baiern vorkommt, auf folgende Weise dar. Aus der Lösung des Minerals in Salz- oder Schwefelsäure entfernt man das phosphorsaure Eisen- und Manganoxydul nach der Oxydation mittelst Salpetersäure durch Ammoniak und den Rest des Mangans durch Schwefelwasserstoffammoniak. Beim Verdampfen des Filtrates bleibt dann Chlorlithium oder schwefelsaures Lithon zurück.

H. Müller hat gleichfalls ein Verfahren angegeben ***), um aus dem Triphyllin, der wegen seines großen Gehaltes an Lithon und seiner Auflöslichkeit in Säuren das zweckmäßigste Material dafür abgiebt, dieses seltene Alkali zu gewinnen. Dieses Verfahren bietet vor dem bisher angewandten mancherlei Vorzüge. Die Zersetzung des gröblich gepulverten Minerals geschieht durch concen-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. I. S. 139. Das Aufschließen durch Schwefelsäure war bereits früher schon durch Gmelin (Gilbert's Ann. Bd. LXIV. S. 371) empfohlen.
**) Journ. f. prakt. Chemie. Bd. V. S. 319.
***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXIII. S. 148.

trirte Salzsäure unter Zusatz von Salpetersäure, um das Eisen in Oxyd zu verwandeln. Die Lösung wird zur Trockne eingedampft und die zurückgebliebene, fein gepulverte Masse mit Wasser ausgekocht. Diese Lösung enthält nur die Chlorüre von Lithium, Mangan und Magnesium. Um die beiden letzteren zu entfernen, mischt man frischbereitetes Kalkhydrat im Ueberschuß hinzu und kocht längere Zeit bei Zutritt der Luft. Das Lithon bleibt in der Lösung, aus der der Kalk durch ein Gemisch von kaustischem und kohlensaurem Ammoniak gefällt wird. Das Filtrat wird eingedampft und das feste Chlorlithium im Porzellantiegel zum Schmelzen erhitzt. Um die darin enthaltene kleine Menge Chlornatrium zu entfernen, digerirt man die Masse mit einem Gemisch von Alkohol und Aether, welches das Chlornatrium ungelöst zurück läßt. Will man reines Lithon bereiten, so verwandelt man das Chlorlithium dadurch in kohlensaures Salz, daß man es in der kleinsten erforderlichen Menge concentrirten kaustischen Ammoniaks auflöst und in diese möglichst kalt gehaltene Auflösung Stückchen von kohlensaurem Ammoniak legt. Versäumt man die letztere Vorsicht, so setzt sich das kohlensaure Lithon mit Chlorammonium wieder in Chlorlithium und kohlensaures Ammoniak um. Das in der Kälte gefällte kohlensaure Lithon mischt man auf einem Filter mit Alkohol aus und entfernt so das Chlornatrium. Setterberg hat gefunden *), daß der Spodumen, als feines Pulver gemengt mit Kohle oder noch besser gemengt und verkohlt mit Oel oder Zucker, in einem glühenden Porzellanrohr so leicht durch einen Strom von Chlorgas zersetzt wird, daß man das Lithonsalz durch Wasser ausziehen kann.

Das Lithonhydrat wird eben so dargestellt wie die Hydrate der anderen Alkalien; im wasserfreien Zustande hat man das Lithon noch nicht erhalten. Im festen Zustande bildet es eine weiße Masse; beim Verdampfen der Lösung scheidet es sich als Pulver oder in körnigen Krystallen aus. Es zieht zwar aus der Luft Kohlensäure an, aber es zerfließt nicht mit Kali und Natron; es ist in Wasser weit weniger löslich wie diese Alkalien, und zwar wird es vom heißen Wasser kaum in größeren Mengen aufgenommen als vom kalten. Es besitzt eine stark alkalische Reaction, schmeckt scharf und ätzend und wirkt stark zerstörend auf die thierische Haut. Es schmilzt sehr leicht, greift aber hierbei das Platin sehr an, weshalb man diese Operation wie beim Kali im Silbertiegel vornehmen muß, der freilich auch nicht ganz verschont bleibt.

In seinen chemischen Eigenschaften steht das Lithon den Alkalien sehr nahe, weshalb wir hier auf die einzelnen Salze und die Verbindungen des Lithium mit anderen Elementen nicht näher eingehen, zumal diese selbst in den chemischen Sammlungen der Universitäten zu den Seltenheiten gehören und wegen ihres bedeutenden Preises auch keine Verwendung gefunden haben. Es genügt hier die Literatur anzuführen **).

---

*) Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 480.

**) Arfoedson, Schweigger's Journ. Bd. XXII. S. 101, Bd. XXXIV. S. 217. Kralovanszky, ebenda Bd. LIV. S. 346. Gmelin, Gilbert's Ann. Bd. LIX. S. 238, Bd. LXII. S. 404 und Bd. LXIV. S. 371. Anthon, Journ. f. pract. Chem. Bd. VIII. S. 405. Heller, ebenda Bd. XII. S. 236. Wächter, ebenda Bd. XXX. S. 322. Berzelius, Pogg. Ann. Bd. I. S. 17, 45 und 191, Bd. II. S. 121, Bd. VI. S. 439 und 454, Bd. VII. S. 17, 140 und 270, Bd. VIII. S. 417, Bd. XXII.

Im Allgemeinen sind die Lithonsalze, wie die der Alkalien überhaupt, im Wasser leicht löslich; doch treten hier schon Verhältnisse auf, durch die das Lithon, so wie durch die Schwerlöslichkeit des Hydrates, den Uebergang zu den alkalischen Erden bildet. So z. B. sind das kohlensaure und das phosphorsaure Lithon wenig in Wasser löslich. Die Lithonsalze werden jetzt in größeren Mengen aus der Kreuznacher Mutterlauge, die nach Fikentscher*) in 1000 Th. 4,53 Chlorlithium enthält, in der chemischen Fabrik des Dr. Marquardt bei Bonn dargestellt. Das kohlensaure Salz kostet die Unze 7 Thlr. 5 Ngr., das schwefelsaure Salz und die Chlorverbindung $5^1/_2$ Thlr. Auch von England aus waren Lithiumsalze in seltenen Mengen zur Pariser Ausstellung eingesendet.

Durch die rothe Färbung, welche das Lithon der Löthrohrflamme ertheilt, läßt es sich leicht von dem Kali und Natron unterscheiden. Dieselbe Färbung ertheilen diese Salze auch der Weingeistflamme. Selbst große Mengen von Kali verdecken die Reaction nicht, wohl aber geringe Mengen von Natron. Verfährt man bei den Löthrohrprüfungen auf gewöhnliche Weise, so neigt sich die Flamme erst deutlich ins Orange, wenn nur 1 Th. Chlornatrium in 1000 Th. Chlorlithium enthalten ist. Wendet man jedoch eine geringere Hitze an, durch die das Chlorlithium vor dem Chlornatrium verflüchtigt wird, so tritt die Reaction des ersteren noch deutlich hervor, selbst wenn nur 1 Th. desselben in 1000 Th. Chlornatrium enthalten ist **). Auch von dem Strontian, das dieselbe Reaction theilt, kann man das Lithon sehr leicht dadurch unterscheiden, daß bei ersterem die rothe Färbung der Flamme durch Zusatz von Chlorbaryum vernichtet wird, während sie bei dem letzteren nicht verschwindet.

Die Trennung des Lithon von den übrigen Oxyden, mit Ausnahme der Alkalien, haben wir hier nicht zu besprechen, da sie sich sehr leicht auf bekannte Art bewerkstelligen läßt. Will man das Lithon von den Alkalien trennen, so verwandelt man diese in Chlormetalle und setzt Platinchlorid zu der Lösung derselben. Man dampft im Wasserbade zur Trockne ein und sondert das Lithon und Natron durch Weingeist. Diese Lösung enthält auch das überschüssig zugesetzte Platinchlorid, das durch Salmiak abgeschieden wird. Das Filtrat dampft man ein und glüht den Rückstand, der endlich mit einem Gemisch von wasserfreiem Alkohol und Aether behandelt wird, wobei das Chlornatrium ungelöst zurückbleibt. W. B.

Locomotive. Locomotiven oder Dampfwagen sind bewegliche Dampfmaschinen, bestimmt dazu sich selbst und eine mit ihnen verbundene Wagenreihe auf einer Eisenbahn fortzuziehen. Die Bedingungen, unter denen die Locomotivdampfmaschinen arbeiten sollen, sind so wesentlich verschieden von denen stehender Maschinen, daß ihnen auch eine ganz andere Einrichtung gegeben werden mußte. Bevor wir auf die Beschreibung der Locomotiven selbst eingehen, wird es zur

S. 54, Bd. XXXII. S. 589 u. 604, Bd. XXXVI. S. 15. Marchand, ebenda Bd. XLI. S. 613. Hermann, ebenda Bd. XV. S. 480. Rammelsberg, ebenda Bd. XLIV. S. 553, Bd. LV. S. 63, Bd. LXIV. S. 270, Bd. LXVI. S. 79, Bd. LXXVI. S. 261. Danson, Liebig's Ann. Bd. LXXII. S. 228.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. V. S. 321.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXI. S. 361.

Ueberſicht über den vor uns liegenden Gegenſtand nützlich ſein, wenn wir zunächſt auf dieſe Verſchiedenheit unſere Aufmerkſamkeit richten.

Die Hauptſchwierigkeit, welche bei der Erfindung der Locomotiven zu überwinden war, beſtand darin, daß man die ganze Dampfmaſchine mit allen Nebenapparaten, mit dem Speiſewaſſer und dem für einige Zeit nothwendigen Brennmaterial auf ein ſo kleines Volumen und Gewicht beſchränken mußte, daß ſie auf ein oder zwei Wagen von nicht zu großen Dimenſionen verladen werden konnte, dabei aber noch ſo viel Kraft beſaß, ſich ſelbſt und noch eine daran gehängte Laſt fortzuziehen. Denn baute man kleine Dampfmaſchinen, ſo hatten ſie nicht Kraft genug ſich fortzuziehen, geſchweige noch eine daran gehängte Laſt, baute man aber kräftige Dampfmaſchinen, ſo fielen ſie ſo umfangreich aus, daß ſie nicht verladen werden konnten, und waren ſo ſchwer, daß mit der gewonnenen Kraft auch die Laſt ſich bedeutend vermehrt hatte. Die Schwierigkeit ſchien anfangs unüberwindbar zu ſein, da die Kraft einer Dampfmaſchine von der in der Zeiteinheit verdampften Waſſermenge abhängt, dieſe aber wieder bedingt wird durch die Größe der Feuerfläche des Keſſels. Erſt ſpäter gelang es, einen Dampfkeſſel zu conſtruiren, der bei mäßigem Umfange eine verhältnißmäßig große Feuerfläche beſaß.

Stehende Dampfmaſchinen haben in der Regel einen gemauerten Herd; da derſelbe bei den Locomotiven wegfallen muß, ſo lag es nahe, ihn durch eine innere Feuerung zu erſetzen, indem man den Herd in das Innere des Keſſels verſetzte.

Eben ſo nothwendig mußte der hohe Schornſtein wegfallen, aber weniger nahe lag das Hülfsmittel, das ihn erſetzen ſollte. Bekanntlich dienen die hohen Schornſteine der Dampfanlagen zur Erzeugung eines lebhaften Luftzuges, durch welchen dem Herde die nöthige Luft zum Brennen herbeigeſchafft wird. Das Feuer in der Locomotive bedarf aber um ſo mehr eines heftigen Luftzuges, als ja der kleine Keſſel eine große Menge Waſſer in verhältnißmäßig kurzer Zeit verdampfen ſoll. Es galt alſo zweitens eine Vorrichtung zu erſinnen, durch welche dieſer Luftzug bewirkt werden konnte.

Auch andere Einrichtungen ſtehender Dampfmaſchinen laſſen ſich auf eine Locomotive nicht übertragen, ſo daß man entweder auf ihren Nutzen geradezu verzichten muß, oder andere Vorkehrungen für den gleichen Zweck zu treffen genöthigt iſt.

So gewährt der Condenſator den Maſchinen, die mit niederem oder mittlerem Druck arbeiten, einen bedeutenden Kraftgewinn, bei Locomotiven aber iſt er gar nicht anzubringen. Der Apparat und das nöthige kalte Waſſer würden ſo viel Raum und Gewicht einnehmen, daß der Gewinn von dem Nachtheil überboten werden würde. Das iſt denn auch der Grund, daß die Locomotiven nur Hochdruckmaſchinen ſein können und daß vor der Herſtellung der Hochdruckmaſchinen alle Verſuche mißlingen mußten, die darauf hinaus gingen, eine fahrbare Dampfmaſchine zu gewinnen. Auch Balancier und Schwungrad konnten von der feſtſtehenden Maſchine nicht auf die Locomotive übergehen, es blieb die Aufgabe zu löſen, ihren Dienſt durch andere Apparate verrichten zu laſſen. Und ſo erleiden denn faſt alle Nebenapparate an der Locomotive eine Abänderung, da ſie ihren Dienſt ſelbſt bei der lebhafteſten Bewegung der Locomotive mit Sicherheit leiſten müſſen.

Galt es, bei der Locomotive die Dampfkraft noch mehr zu entfeſſeln, als es in der feſtſtehenden Maſchine geſchehen war, ſo war es auch nothwendig, ſie

noch mehr zu zügeln, und dem Führer der Maschine die Mittel in die Hand zu geben sie seinem Willen und dem augenblicklichen Bedürfniß zu unterwerfen. Die feststehende Maschine hat in der Regel einen gleichmäßigen Widerstand zu überwinden und leistet ihre Arbeit meist mit derselben Geschwindigkeit. Die Locomotive hat hingegen eine sehr ungleiche und wechselnde Arbeit zu leisten. Nicht nur, daß der fortzubewegende Wagenzug heute doppelt so schwer sein kann als gestern, daß er während derselben Fahrt von Station zu Station sich ändert, die Last kann plötzlich, beim Uebergange aus einer horizontalen Bahnstrecke in eine Bahnsteigung um mehr als das Doppelte wachsen, und eben so schnell kann bei einer daran grenzenden abwärts gehenden Steigung der Bahn alle Zugkraft überflüssig werden, indem der Wagenzug sich durch seine eigene Schwere bewegt. Deshalb muß die Locomotive Vorrichtungen besitzen, durch welche der Grad der Zugkraft, welchen dieselbe äußern soll, nach dem jedesmaligen Erfordern vermehrt oder vermindert werden kann, durch welche es selbst möglich sein muß, bei unvorhergesehenen Vorfällen den Zug so schnell als irgend möglich zum Stillstand und zur entgegengesetzten Bewegung zu bringen.

Daß die Locomotiven diesen Anforderungen genügen, ist bekannt, es kommt nun jetzt darauf an, zu zeigen, durch welche Mittel es möglich ist. Zunächst wollen wir eine allgemeine Beschreibung der Locomotiven geben, und dieser dann ein näheres Eingehen auf die einzelnen Theile und eine Erörterung der Theorie derselben anschließen.

I. Uebersichtliche Beschreibung der Locomotiven.

Die eigentliche Locomotive, die wir hier getrennt von ihrem Munitionswagen, dem Tender, welcher Brennmaterial und Speisewasser nachfährt, betrachten, besteht aus drei Theilen: 1) dem Gestell, 2) dem Dampfkessel, 3) der eigentlichen Dampfmaschine. Der erste Theil trägt das Uebrige und macht die Fortbewegung möglich, der zweite erzeugt die Kraft zur Bewegung, und der dritte verwirklicht die Bewegung selbst.

Das Gestell besteht aus den Rädern mit ihren Axen, dem Rahmen und der Gallerie für den Führer. Es sind in der Regel drei Paar Räder vorhanden, von denen jedes Paar auf seiner Axe vollkommen festsitzt, so daß sich Räder und Axe gleichzeitig umdrehen, die Radumfänge haben an der inneren Seite einen hervorstehenden Rand, den Spurkranz, der die Räder verhindern soll, die Schienen zu verlassen. Gewöhnlich ist ein Paar der Räder — meist das mittlere Paar — größer als die übrigen, sie heißen Treibräder, weil auf sie oder ihre Axe zunächst die Kraft der Dampfmaschine wirkt und von ihnen aus die Bewegung erst auf die ganzen Wagen übertragen werden kann. Sie werden umgedreht durch eine Schubstange, die ihre hin- und hergehende Bewegung von der Kolbenstange der Dampfcylinder erhält. Entweder greift die Schubstange eine an der äußeren Fläche der Räder befindliche Kurbelwarze an und dann ist die Axe dieser Räder gerade, oder die Schubstange liegt auf der inneren Seite der Treibräder, und dann greift sie in ein Knie (eine Verkröpfung) der Treibaxe ein. Ob die eine oder die andere Einrichtung stattfindet, hängt davon ab, ob die Dampfcylinder an der äußeren Seite oder im Innern der Locomotive sich befinden. Die kleineren Räder heißen Fahr- oder Tragräder.

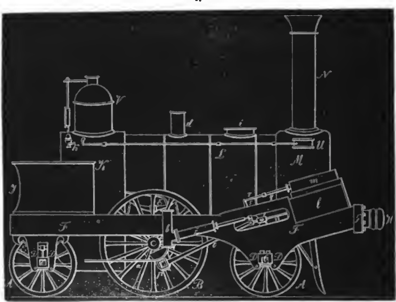
Die Axen der Räder bewegen sich in messingenen Büchsen, auf welchen der Rahmen ruht. Die Büchsen sind aber nicht unbeweglich mit dem Rahmen verbunden, sondern die Verbindung ist mittelst starker Federn hergestellt. Gewöhnlich tragen die Büchsen die Federn über sich und an ihnen hängt dann der Rahmen. Diese Verknüpfung hat den Zweck, daß Stöße, welche die Räder auf den Schienen etwa erleiden, sich nicht mit gleicher Kraft auf den Rahmen und die mit ihm verbundene Maschinerie übertragen, daß aber auch umgekehrt Ungleichmäßigkeiten in der Wirkung der Maschinerie nicht im gleichen Maße auf die Räder übergehen.

Der Rahmen ist der eigentliche Träger des Kessels und der Dampfmaschine, er besteht in der Regel aus zwei Langschwellen, die entweder aus Holz bestehen und mit Eisenblech bekleidet sind, oder ganz aus starkem Eisenblech hergestellt sind, und aus zwei Querschwellen; letztere dienen zur Verbindung der Langschwellen und zur Befestigung einiger Nebenapparate, z. B. der Haken und Ketten zum Anhängen anderer Wagen, der Puffer und dergleichen. Der Rahmen besitzt nach oben Träger und Streben zur Befestigung des Kessels, nach unten aber die sogenannten Axenhalter oder Leitungsplatten, d. h. senkrechte Backenstücke, zwischen welchen die Axenbüchsen sich befinden und vor einer Verrückung in horizontaler Richtung gesichert werden. Gewöhnlich trägt auch der Rahmen noch eine Blechkapsel, welche in bogenförmiger Gestalt den oberen Theil der Treibräder umgiebt, um jede unvorsichtige Berührung zu verhüten.

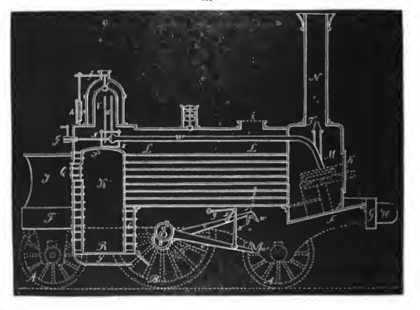
In den beiden umstehenden Figuren I. und II., von denen die erste eine Seitenansicht, die zweite aber einen Längenschnitt darstellt, bezeichnen A, A die Fahrräder, B das Treibrad, und C, C die Büchsen für die Axen der Fahrräder, welche ihre Führung durch die Axenhalter D, D erhalten. Auf jenen Büchsen ruhen die Federn E, E, an welchen der Rahmen aufgehängt ist. Vom Rahmen sieht man die eine Langschwelle F, F; die vordere Querschwelle zeigt einen Querschnitt G mit dem einen Puffer H, auf der hinteren Querschwelle ruht die Gallerie J, die dem Führer zum Aufenthalt dient.

Der Dampferzeuger besteht aus drei Haupttheilen, dem Feuerkasten K, dem eigentlichen Kessel L und dem Rauchkasten M mit dem Schornstein N. Der eigentliche Kessel L ist cylindrisch und von 100 oder mehr horizontalen messingenen Heizrohren durchzogen, welche in den beiden Stirnflächen des Kessels befestigt sind, und die Feuerkammer mit der Rauchkammer verbinden, so daß die erhitzten Gase, die vom Feuer der Feuerkammer herrühren, durch die Heizröhren in die Rauchkammer entweichen müssen. Die Feuerkammer K ist einem umgestürzten parallelepipedischen Kasten ähnlich, dessen Oeffnung sich unten befindet. Nach vorn schließt sich der Feuerkasten unmittelbar an den cylindrischen Theil des Kessels an, doch wird er sonst überall von doppelten Wandungen gebildet, deren Zwischenraum mit Wasser gefüllt ist und deshalb Wasserkasten genannt wird. Das Wasser des Wasserkastens steht mit dem übrigen Kesselwasser in unmittelbarer Verbindung, eben so setzt sich der Kesselraum noch über den Wasserkasten hin fort, so daß noch die oberste Decke des Feuerkastens, die Feuerdecke P vom Wasser bedeckt bleibt. Der Festigkeit wegen befinden sich zwischen den Wänden der Wasserkammer eine große Zahl von Stehbolzen. In der hinteren Wand des Feuerkastens, nach der Gallerie zu, befindet sich eine Oeffnung Q zum Eintragen des Brennmaterials, die durch eine Heizthür verschlossen werden kann. Auf dem Boden des Feuerkastens befindet sich der Rost R, unter demselben der Aschenfall

I.



II.



S, dessen nach vorn gerichtete Oeffnung mittelst einer Klappe mehr oder weniger offen gehalten werden kann. Mittelst eines Gestänges mit Hebelwerk kann der Führer von der Gallerie aus die Stellung dieser Klappe reguliren. Die inneren Wände der Feuerkammer bilden die directe oder unmittelbare Feuerfläche, sie sind allseitig vom Wasser umgeben und nehmen von der Heizluft, die hier auch die größte Hitze besitzt, zuerst die Wärme auf, dann gehen die heißen Gase durch die Heizröhren, deren Wandungen die indirecte oder mittelbare Heizfläche ausmachen, geben hier einen weiteren Theil ihrer Wärme ab, gelangen aber immer noch sehr heiß an die Rauchkammer, um durch den Schornstein zu entweichen. Die indirecte Heizfläche ist etwa zehnmal so groß als die directe, doch ist die Aufnahme von Wärme im Verhältniß zur Fläche hier etwa dreimal geringer als dort. Hieraus ergiebt sich, daß das Wasser im Wasserkasten und über der Feuerdecke die größte Temperatur besitzt und daß an dieser Stelle auch die lebhafteste Dampfbildung besteht, doch rührt das Hauptquantum des erzeugten Dampfes vorzugsweise von den Heizröhren her, denen denn auch der verhältnißmäßig kleine Kessel seine große Verdampfungsfähigkeit verdankt. Zur Unterhaltung des Feuers in der Feuerkammer ist eine große Menge atmosphärischer Luft nöthig. Um diese dem Roste zuzuführen, legt man die Oeffnung des Aschenfalls nach vorn, so daß bei der Bewegung der Locomotive die Luft durch diese Oeffnung an den Rost tritt. Je schneller also die Locomotive fährt, desto mehr Luft tritt zum Feuer und desto lebhafter kann dasselbe brennen. Dieses Verhältniß entspricht aber auch dem Bedürfniß, denn bei schneller Fahrt wird mehr Dampf verbraucht, es muß also auch die Dampferzeugung lebhafter sein, als bei langsamer Fahrt. Durch Stellung der Klappe an der Oeffnung des Aschenfalls kann nun der Führer die Lebhaftigkeit des Luftzutritts in einer Hinsicht reguliren, er kann sie mindern, wenn sie zu groß ist, ja er kann den Luftzutritt ganz verhindern, indem er jene Oeffnung mittelst der Klappe verschließt.

Wenn nun auch durch diese Einrichtung das zum Brennen nöthige Quantum Luft herbeigebracht wird, so reicht sie doch nicht dazu hin, diese Luft durch die vielen engen Röhren hindurch in die Rauchkammer zu treiben. Diesen Zweck erreicht eine andere sinnreiche Vorrichtung. Man läßt nämlich den Dampf, nachdem er in den Dampfcylindern gewirkt hat, durch ein vertikal aufwärts gerichtetes Rohr T, das Blaserohr, in der Rauchkammer ausblasen. Die Oeffnung des Blaserohrs ist etwas eng, so daß der Dampf mit großer Geschwindigkeit ausströmen muß. Beim Ausblasen expandirt er, und während er mit Heftigkeit den Schornstein verläßt, reißt er nicht bloß die in der Rauchkammer und im Schornsteine befindliche Luft mit fort, sondern erzeugt auch abwechselnd in der Rauchkammer eine Art von Leere, in welche die Feuerluft vom Herde her durch die Heizröhren nachdringt. Zwar schafft man sich dadurch, daß man den Dampf durch das enge Blaserohr ausströmen läßt, einen Widerstand, der einen Theil der Kraftwirkung verzehrt, doch ist der Gewinn, den der vergrößerte Luftzug gewährt, bei weitem überwiegend. Auch der Einfluß des Blaserohrs auf den Luftzug läßt sich durch verschiedene Vorkehrungen in die Gewalt des Führers bringen. Die einfachste Vorkehrung kann durch einen Schieber U (Fig. I.) in der Seitenwand der Rauchkammer gebildet werden, der durch eine Stange vom Führer regiert werden kann. Wird dieser Schieber mehr oder minder geöffnet, so kann die äußere Luft in die Rauchkammer eintreten und der Luftzug durch die Feuerröhren wird sich mäßigen.

Hängt nun der Luftzug von den beiden Factoren, der Geschwindigkeit der Locomotivenbewegung und der Thätigkeit des Blaserohrs, ab, so wird folgen, daß er bedeutend vermindert wird, wenn einer dieser beiden Factoren wegfällt, oder gar beide. Wird der Dampf ganz abgesperrt, so muß natürlich auch die Wirkung des Blaserohrs aufhören, gleichzeitig wird sich die Gluth des Feuers mindern; steht der Zug still, so fällt auch die Zuführung der Luft in Folge der Bewegung weg, und die Dampferzeugung wird noch weiter sinken. Nach manchen Erfahrungen soll die Dampfproduction bei völligem Stillstande der Locomotive nur $^1/_{10}$ von der bei lebhaftem Gange betragen.

Da die Feuerdecke P noch um einige Zoll vom Wasser bedeckt sein muß, so bleibt für den Dampfraum im Kessel wenig übrig. Um diesen Dampfraum zu vergrößern und dadurch einen bequemen Ort zur Ableitung des Dampfes zu gewinnen, bringt man auf dem Kessel, gewöhnlich oberhalb des Feuerkastens eine Kuppel (Dom) V an. In dem oberen Theile dieser Kuppel öffnet sich das Dampfrohr W (Conduct), durch welches der Dampf aus dem Kessel in den Cylinder geführt wird; hier in der Rauchkammer theilt sich das Dampfrohr in zwei Arme, die den Dampf nach den beiden Dampfcylindern führen. Die Oeffnung des Dampfrohrs wird deshalb in den höchsten Theil des Dampfraums verlegt, damit so wenig als möglich Wasser mit dem Dampf zugleich fortgerissen werde. An der Stelle, an welcher das Dampfrohr aus der verticalen Richtung in die horizontale übergeht, befindet sich gewöhnlich der Regulator X, eine Vorrichtung, durch welche die Zuströmung des Dampfes innerhalb des Maximums vermehrt oder vermindert werden kann. Er besteht entweder in einer Klappe, einem Schieber, einem Hahn oder einer Drehscheibe und kann mittelst einer Kurbel G von der Gallerie aus gestellt werden. Durch den Regulator wird der Dampfdruck auf die Kolben der Dampfcylinder nicht geändert, wohl aber die Geschwindigkeit der Dampfzuströmung und damit die Geschwindigkeit der Bewegung. Mittelst des Regulators wird also die Geschwindigkeit des Zuges geregelt und geleitet werden können, nicht aber die Zugkraft der Maschine. Soll der Zug sich langsamer bewegen oder gar zum Stillstand kommen, so wird man mittelst des Regulators den Dampfzutritt zu den Dampfcylindern mäßigen oder ganz unterbrechen. Bei gleichmäßiger Feuerung produciren die Dampfkessel in gleichen Zeiten gleichviel Dampf, wird nun durch eine gewisse Stellung des Regulators der Dampfabfluß vermindert, so muß zugleich darauf Bedacht genommen werden, auch die Dampferzeugung zu vermindern, weil sonst die Dampfmenge und dadurch die Dampfspannung im Kessel zu sehr steigen könnte. Zum Theil bringt der verminderte Dampfabfluß schon von selbst auch eine Verminderung der Dampfproduction hervor; denn bei der verminderten Geschwindigkeit der Locomotive ist auch der Luftzug verringert, und das schwächer angefachte Feuer läßt alsobald auch weniger Dampf entstehen. Doch hat der Führer zu gleichem Zweck noch andere Mittel in der Hand, er kann den Luftzug noch weiter mäßigen, indem er den Schieber U öffnet, oder er kann frisches Wasser in den Kessel lassen, wovon weiter unten die Rede sein wird. Meist befindet sich auch an den Locomotiven eine Röhre, welche den überschüssigen Dampf in den Wasserraum des Tenders leiten kann, woselbst er zum Vorwärmen des Wassers dient. Ein im Bereiche der Gallerie befindlicher Hahn kann die Verbindung herstellen oder unterbrechen.

Von den Nebenapparaten des Dampfkessels sind zunächst die beiden Wasser-

pumpen zu nennen, die zur Seite des Kessels parallel mit den Dampfcylindern liegen, und deren Kolben unmittelbar von der Kolbenstange der Dampfcylinder bewegt wird. a (Fig. I.) ist das Zuleitungsrohr, welches vom Wasserkasten des Tenders herkommt, b ist die Büchse für die Saug- und Druckventile, von wo ein Druckrohr das Wasser in den Kessel führt. Jede Pumpe kann allein mehr Wasser in den Kessel liefern, als fortwährend verdampft, und es würde bald der Kessel überfüllt werden, wenn beide Pumpen fortwährend im Gange blieben, deshalb müssen sich die Pumpen abstellen lassen, so daß ihre Kolben leer gehen; ein Hahn kann auch die Saugröhre a absperren, und ein anderer an der Druckröhre, der sich nach außen öffnet, kann zur Controle für die Thätigkeit der Wasserpumpen dienen. Der Wasserzufluß zum Kessel findet also nicht ununterbrochen statt, sondern wird nur von Zeit zu Zeit hergestellt, bildet aber in der Hand des Führers ein Mittel, die Dampferzeugung zu mäßigen.

Denn setzt man plötzlich beide Pumpen in Thätigkeit, so wird ein großer Theil der gleichzeitig erzeugten Wärme dazu verwandt, um das neu eintretende Wasser zur Temperatur des Kesselwassers zu erheben, geht also für die Dampfbildung verloren. Da also das Einführen des frischen Wassers in den Kessel, eben so wie das Aufschütten von frischem Brennmaterial auf den Herd die Dampferzeugung mäßigen, so wird man beim gleichmäßigen Gange der Locomotive nicht beides zugleich vornehmen, sondern mit beidem abwechseln.

Da der Tender mit der Locomotive nicht unbeweglich verbunden ist, so muß die Saugröhre a auch ein bewegliches Zwischenstück haben, welches entweder aus einem elastischen Schlauche oder einem verschiebbaren Röhrenstück besteht.

Wie jeder feststehende Dampfkessel hat auch der Locomotivenkessel zwei Sicherheitsventile, doch können dieselben hier nicht durch Gewichte belastet werden, sondern sie werden durch gespannte Federn angedrückt, deren Spannung vorher regulirt ist und von Zeit zu Zeit von neuem geprüft wird. Das eine Ventil d, gewöhnlich außer dem Bereich des Führers, ist mit einer constanten Kraft belastet, die der Maximalspannung des Dampfes entspricht. Das andere Ventil e befindet sich in der Nähe der Gallerie, meist auf dem Dome V, und wird durch einen einarmigen Hebel f niedergehalten, der durch eine Spiralfeder gespannt wird. Diese Feder ist in einem Cylinder g eingeschlossen. Dieses Sicherheitsventil dient zugleich als Manometer, da die gewöhnlichen Quecksilbermanometer stehender Dampfmaschinen hier nicht anwendbar sind. Durch eine Stellschraube läßt sich die Spannung der in g eingeschlossenen Spiralfeder verändern und an einer, vorher durch Versuche festgestellten Scala h läßt sich die Kraft der jedesmaligen Anspannung der Feder ablesen. Will man nun die Spannung des Dampfes im Kessel kennen lernen, so vermindere man mit Hülfe der Stellschraube die Spannung der Spiralfeder so lange, bis das Ventil e sich hebt und Dampf entweicht; die Kraft der letzten Federspannung wird dann mit Hülfe des Verhältnisses der Hebelärme f und der Ventilfläche e die Dampfspannung erkennen lassen.

Ein Wasserstandszeiger und einige Probirhähne in der Nähe des Führers haben dieselbe Einrichtung als bei stehenden Dampfkesseln, auch ist zum Behufe der Kesselreinigung ein Fahrloch i vorhanden. Eine Thür k befindet sich auch an der anderen Seite der Rauchkammer, deren innerer Raum dadurch zugänglich wird.

Als eigenthümliches Werkzeug der Locomotiven-Kessel ist noch die Signalpfeife k anzuführen. Sie besteht aus einem kleinen Dampfreservoir, welches nach oben in einem ringförmigen Spalt geöffnet ist. Diesem Spalt gegenüber in kurzer Entfernung befindet sich der Rand einer kleinen Glocke, welche den bekannten schrillenden Ton hervorbringt, wenn nach Oeffnung eines Hahnes der Dampf aus dem ringförmigen Spalt hervordringt.

Zum Schutz gegen Abkühlung ist der cylindrische Theil des Kessels mit einem Mantel von gefalzten Brettern umgeben, und die unter den gewöhnlichen Kessel herabragenden Theile der Feuer- und Rauchkammer sind der Festigkeit wegen noch durch starke Eisenstangen mit einander verbunden.

Der Bewegungsapparat der Locomotive unterscheidet sich nicht so sehr von dem gewöhnlicher Hochdruckmaschinen. Nur sind zwei Cylinder l vorhanden, die in der Regel vorn zur Seite liegen, entweder innerhalb der Rauchkammer, wo sie am besten gegen Abkühlung geschützt sind, oder außerhalb derselben, wo sie dann noch besonders durch einen Mantel von Holz oder Filz geschützt werden müssen. Die eine Seite jedes Cylinders, gewöhnlich die obere, oft auch die nach innen gekehrte, ist zu einer ebenen Platte abgeschliffen, in welcher die Oeffnungen für den Ein- und Austritt des Dampfes sich befinden. An diese Platte schließt sich dann die Dampfbüchse m an, in welche je ein Arm des Dampfrohrs einmündet, und in welcher sich der Dampfschieber befindet. Die Kolbenstange n ist mit der Kurbelstange oder Treibstange o eingelenkt; diese umfaßt mit ihrem hinteren Ende p eine Kurbelwarze des Treibrades oder greift bei innerer Lage der Dampfcylinder eine Verkröpfung der Treibaxe an. Mittelst der Treibstange wird nun durch die hin und hergehende Bewegung des Kolbens die rotirende Bewegung der Treibräder hervorgebracht. Bekanntlich nennt man die beiden Lagen der Treibstange, in welchen sie mit der Kolbenstange und einem Radradius eine gerade Linie bildet, die todten Punkte, weil die Kraft der Kurbelstange an dieser Stelle null ist, und weil die rotirende Bewegung hier leicht in die entgegengesetzte übergehen kann, wenn nicht die Trägheit der bewegten Maschine sie über diese Punkte hinausbringt. Bei feststehenden Maschinen dient hierzu das Schwungrad, bei Locomotiven könnte während der Bewegung die Trägheit des gespannten Wagenzuges dazu dienen, doch fiele dieser Einfluß im Anfange der Bewegung weg, so daß es mit besonderen Schwierigkeiten verbunden wäre, den Wagenzug in bestimmter Richtung in Bewegung zu setzen. Deshalb muß die Locomotive zwei Dampfcylinder besitzen, deren zugehörige Kurbelradien einen rechten Winkel mit einander bilden, so daß die eine Kurbelstange mit ihrem Radius einen rechten Winkel bildet, also im Maximum ihrer Wirksamkeit steht, wenn die andere im todten Punkte sich befindet, also gar nicht wirken kann. Ferner giebt die Anwendung zweier Dampfcylinder mit dieser Stellung der Kurbelradien den Gewinn, daß die Gesammtkraft beider Kurbeln in der Zeit einer Umdrehung sich zwischen weit engeren Grenzen abändert, als es bei nur einem Cylinder der Fall wäre.

Der in der Dampfbüchse m befindliche Dampfschieber bewirkt die Steuerung ganz so, wie bei stationären Maschinen, er wird bewegt durch eine Schieberstange q, welche gewöhnlich durch eine Lenkstange r und einen kleinen Hebel s mit dem Steuerexcentrik in Verbindung steht, das auf der Treibaxe sitzt, von welcher es seine Bewegung erhält. So bewirkt auch hier die Kolbenbewegung ihre eigene

Steuerung. Der Locomotive eigenthümlich sind aber die Umsteuerungsvorrichtungen, von denen wir die eine, welche in Fig. II. S. 586 angedeutet ist, hier erläutern wollen. Da das Interesse eintreten kann, den Triebrädern die umgekehrte Drehbewegung zu ertheilen, so muß die Locomotive Vorrichtungen besitzen, durch welche die Bewegung der Triebräder, selbst beim schnellsten Gange des Wagenzuges, in die entgegengesetzte verkehrt werden kann. Am einfachsten kann dieser Zweck erreicht werden, wenn man auf der Triebaxe t, für jeden Dampfcylinder zwei Excentriken u und u' in entgegengesetzter Lage anbringt. Die beiden Excentrikstangen v und v' tragen an ihren Endpunkten die Gabeln oder Klauen w und w', mit welchen sie den unteren Knopf des Hebels s ergreifen können. Die Excentrikstangen v und v' sind mittelst der Stangen x und x' an den einen Arm eines Winkelhebels y angehängt; der andere Arm ist in der Zeichnung nicht angedeutet, kann aber durch eine Stange von der Gallerie her bewegt werden, so daß sich Arm y zu heben und zu senken vermag. Dadurch hat der Führer es in seiner Gewalt, den Knopf des Hebels s bald durch die eine oder die andere der beiden Klauen w, w' angreifen zu lassen; der Hebel s aber steht, wie oben angeführt ist, mit der Schieberstange q in Verbindung. Es springt in die Augen, daß die entgegengesetzt liegenden Excentriken einer entgegengesetzten Bewegung der Schieber entsprechen und daß durch plötzliche Abwechselung der Klauen, die Schieberbewegung und damit auch die Kolbenbewegung in die entgegengesetzte übergeht. Natürlich kann dieser Wechsel nicht in jedem Momente des Kolbenspiels vorgenommen werden, sondern nur in dem Augenblicke, in welchem die beiden Klauen w, w' senkrecht über einander stehen. Dieser Stellung entspricht die mittlere Schieberstellung und eine Endstellung des Kolbens. Nehmen wir an, der Kolben befinde sich im Augenblicke des Klauenwechsels am hinteren Ende des Cylinders, so daß eigentlich der vordere Cylinderraum jetzt nach dem Blaserohre hin geöffnet, und der hintere mit dem Dampfkessel in Verbindung gesetzt werden sollte. Da der Schieber seine Bewegung wechselt, so wird umgekehrt der mit Dampf gefüllte vordere Raum des Cylinders wieder mit dem Dampfkessel in Verbindung gesetzt; aber die Treibräder fahren zunächst fort, sich in der ersten Drehrichtung zu drehen, und nöthigen auch den Kolben, sich gegen den mit Dampf gefüllten Cylinderraum zu bewegen. Der Dampf stemmt sich indessen mit der ganzen Spannung, die er im Kessel besitzt, gegen den Kolben; es fragt sich nun, was das Resultat dieses Streites der Kräfte ist? Die Trägheit des gesammten Wagenzuges drängt auch die Locomotive vorwärts und nöthigt die Treibräder sich in der ursprünglichen Richtung zu drehen. Wollen sich die Treibräder trotz der vorwärtsgehenden Bewegung des Zuges entgegengesetzt drehen, so muß die Reibung überwunden werden, welche dann zwischen ihrem Umfange und den Eisenbahnschienen sich bildet; es kommt nun darauf an, ob das Moment des Dampfgegendrucks größer ist als das Moment der Reibung oder nicht. Ist der Dampfdruck nicht größer als die Reibung, so kann keine Umkehrung in der Bewegung der Treibräder eintreten, die Dampfkolben werden aber, so lange diese Klauenstellung bleibt, sich stets gegen den Dampf bewegen müssen, und der gesammte Dampfdruck wird dann eine Kraft, welche die Bewegung des ganzen Zuges verzögert. Ist aber der Dampfdruck größer als die Reibung, so hat derselbe zuerst das geringe Trägheitsmoment der Treibräder mit ihrer Axe zu vernichten, und dann wird eine Umkehr ihrer Bewegung eintreten, so daß dadurch die Schieberbewegung wieder mit der Kolbenbewegung in

Uebereinstimmung tritt, obwohl sich die Treibräder rückwärts bewegen. Die Reibung dieser Räder auf den Schienen ist dann die den Zug verzögernde Kraft.

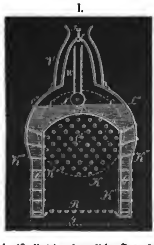
Wegen dieses bedeutenden Widerstreits der Kräfte wird solche plötzliche Umkehr in der Steuerung nicht ohne eine große Erschütterung der Maschine vor sich gehen, und man wird sie beim vollen Lauf der Maschine nur im Nothfalle anwenden. Giebt die gänzliche Abspannung des Dampfes noch keine genügende Verzögerung im Laufe des Zuges, so wendet man die Bremsen an, welche an den Laufrädern einzelner Eisenbahnwagen angebracht sind, und die Umdrehung derselben hemmen oder ganz aufheben. Erst wenn die Wirkung der Bremsen noch nicht ausreichen sollte, oder ihr Anziehen nicht schnell genug erfolgen kann, wird man von dem sogenannten Gegendampf Gebrauch machen.

Der Dampf, welcher aus dem Kessel in die Cylinder kommt, ist nicht ganz wasserfrei; je lebhafter die Dampfbildung erfolgt, desto mehr kleine Wasserkügelchen reißen sich mit dem Dampfe mechanisch vom Wasser los und kommen so in die Cylinder. Oft beträgt das auf diese Weise verloren gehende Wasser 25 Proc. Um dieses Wasser aus den Dampfcylindern zu entfernen, befinden sich am Boden derselben Hähne, durch die es abgelassen werden kann.

Alle Theile des Bewegungsapparates und des Gestelles, welche mit ihren Flächen sich an einander bewegen, müssen mit angemessenen Schmiervorrichtungen versehen sein, um die Reibung und die Erhitzung der reibenden Flächen zu mindern.

Von den beiden beistehenden Figuren bezeichnet Fig. I. einen Querschnitt durch den Feuerkasten, Fig. II. einen Querschnitt durch den Rauchkasten. In

I.



II.

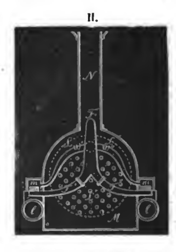


Fig. I. ist K die eigentliche Feuerkammer, K' der innere Feuerkasten, K'' der äußere, P die Feuerdecke. R ist der Rost, unterhalb desselben ist der Aschenfall S. V ist der Dom mit dem Sicherheitsventil, W der Anfang des Dampfrohres, X ein Querschnitt des Regulators. Die Wände K', K'' des Wasserkastens O sind durch kupferne Stehbolzen mit einander verbunden, weil sonst die geraden Wände dem

Dampfdruck gegenüber nicht Stabilität genug haben würden. Der punktirte Kreis L giebt Lage und Größe des Kesselcylinders an, die kleinen Kreise L' sind Querschnitte der Feuerröhren und die Linie L'' L'' deutet den gewöhnlichen Wasserstand an. In vorstehender Fig. II. behalte L und L' die eben angegebenen Bedeutungen, N ist der Schornstein. Die Dampfröhre spaltet sich hier in die beiden Arme W' und W'', welche zu den Dampfbüchsen m, m führen, m' ist der Dampfschieber, l der Cylinder, aus dessen oberem Theile die beiden Arme F' und F'' des Blaserohrs ausgehen.

Die Thätigkeit der Locomotive besteht nun darin, daß durch den abwechselnden Druck des Dampfes auf die vordere und hintere Fläche des Kolbens dieser zu einer hin und hergehenden Bewegung veranlaßt wird, und daß diese Bewegung durch die Treibstange die rotirende Bewegung der Treibräder hervorbringt. Wenn nun die Eisenbahnschienen und die Ränder der Treibräder absolut glatt wären, so würden die Räder der Locomotive auch nur rotiren können, sie vermöchten nicht einmal die Locomotive von der Stelle zu schaffen, viel weniger einen daran gehängten Zug. Die natürliche Rauheit der Eisenbahnschienen bildet aber ein Hinderniß für die blos rotirende Bewegung der Treibräder, und während nun diese Treibräder an dem Punkte ihrer Peripherie, mit welchem sie die Bahnschienen berühren, festgehalten werden, bringt das Bestreben zu rotiren eine fortschreitende Bewegung des Mittelpunktes hervor. Nur in dieser Weise kann die Locomotive eine Zugkraft ausüben, und wenn wirkliche Bewegung eintreten soll, muß diese Zugkraft noch größer sein als die Summe der Hindernisse, die dem gesammten Zuge sich entgegen setzen. Diese Hindernisse bestehen vorzüglich in der Zapfenreibung sämmtlicher Eisenbahnräder und zu einem sehr kleinen Theile aus der rollenden Reibung auf den Schienen. Für den bewegten Zug kommt noch der Luftwiderstand hinzu, den die ruhige oder etwa durch Wind bewegte Luft dem Zuge entgegensetzt. Dieser Luftwiderstand hängt wesentlich von der Geschwindigkeit des Zuges ab, jene Reibung aber ist einem bestimmten Bruchtheile vom Gewichte sämmtlicher Wagen mit ihrer Last gleich. Geht die Bewegung noch eine etwas geneigte Bahn aufwärts, so kommt zu den Widerständen ein dem Neigungsverhältniß entsprechender Theil vom Gewicht des Gesammtzuges hinzu. Der Gesammtwiderstand muß nun kleiner sein als die eigentliche Zugkraft der Locomotive, er muß aber auch kleiner sein als die gleitende Reibung zwischen der Peripherie der Treibräder und den Eisenbahnschienen, denn wäre er größer, so würde die Locomotive nicht von der Stelle kommen, die Treibräder aber würden sich dennoch drehen, wäre aber der Dampfdruck in den Cylindern geringer als jener Gesammtwiderstand und auch als jene gleitende Reibung, so würde keinerlei Bewegung entstehen, weder eine fortschreitende der Locomotive, noch eine blos rotirende der Treibräder. Die Thätigkeit der Locomotive hängt also davon ab, 1) daß die Zugkraft groß sei, 2) daß die gleitende Reibung der Treibräder auf den Schienen noch größer sei, und 3) daß der Gesammtwiderstand des Zuges gegen die Bewegung so gering als möglich sei.

Die Zugkraft ist der Dampfdruck auf die beiden Kolbenflächen; dieser ist um so größer, je stärker der Dampf gespannt ist, und je größer der Querschnitt des Kolbens ist, man kann also die Zugkraft steigern, wenn man diese beiden Factoren steigert, d. h. indem man stark gespannten Dampf und sehr weite Cylinder anwendet. Die gleitende Reibung der Treibräder ist gleich einem bestimmten (im

Mittel etwa dem sechsten) Theil ihrer Belastung; da sie größer als die Zugkraft sein soll, so muß sie also auch gleichzeitig mit ihr wachsen, was man dadurch erhält, daß man den größten Theil vom Gewicht der Locomotive auf die Treibräder wirken läßt, und daß man dieses Gewicht selbst steigert. Läßt sich das Hauptgewicht der Locomotive nicht auf die zwei Treibräder bringen, so macht man ein Paar der Fahrräder gleich hoch mit ihnen und verkoppelt beide Räderpaare. Den Bewegungswiderstand kann man bei einer gegebenen fortzuschaffenden Last dadurch gering halten, daß man die Schmierbüchsen für die Axenzapfen so vollkommen als möglich construirt und die Bahn so horizontal als möglich anlegt. Die Schnelligkeit der Bewegung hängt von der Menge des erzeugten Dampfes ab, weil bei schneller Bewegung die Cylinder sich häufiger füllen müssen. Da aber dieselbe Gewichtsmenge Dampf bei starker Spannung weniger Raum einnimmt, als bei schwacher, so folgt daraus, daß, wenn der Dampf mit starker Spannung auf den Kolben wirken muß, d. h. wenn eine große Last fortgeschafft werden soll, die Bewegung nicht so schnell vor sich gehen kann, als im entgegengesetzten Falle, daß also die Last nur auf Kosten der Geschwindigkeit gesteigert werden kann, wie auch umgekehrt große Geschwindigkeiten nur bei mäßiger Belastung möglich sind. Es liegt nahe, das Verhältniß zu erkennen, in welchem die Höhe der Treibräder zur Geschwindigkeit der Bewegung steht; hohe Treibräder werden einer schnellen Bewegung, niedrige einer starken Zugkraft entsprechen.

So oft zuletzt vom Dampfdruck die Rede gewesen ist, ist immer nur der Dampfdruck gegen die Dampfkolben gemeint, der dann unterschieden werden muß von dem Dampfdruck im Kessel. Jener kann nie größer sein als dieser, wohl aber bedeutend kleiner. Der Dampfdruck im Cylinder richtet sich stets nach der nöthigen Zugkraft; sind wenig Widerstände zu überwinden, so dehnt sich der Dampf, sobald er in die Cylinder kommt, schnell so weit aus, daß er eben den zu überwindenden Widerständen entspricht; hingegen muß er in größerer Spannung verbleiben, wenn eine größere Last fortzuschaffen ist. Da nun dasselbe Quantum ausgedehnten Dampfes die Cylinder öfter zu füllen vermag, als im gespannteren Zustande, so folgt, daß die Locomotive geringere Lasten viel schneller zu bewegen vermag als größere, und daß die Geschwindigkeit eines Wagenzuges alsobald gemäßigt wird, wenn der Zug aus der horizontalen Bahnstrecke in eine aufsteigende übergeht. Man kann also mit derselben Dampfspannung im Kessel sowohl schwerere als leichtere Lasten fortschaffen, aber die ersten langsamer, die letzten schneller, denn die Ausdehnung des dichten Dampfes zu einem größeren Volumen geht erst in den Cylindern vor sich.

Es versteht sich von selbst, daß die Steigerung der Geschwindigkeit oder der Zugfähigkeit einer bestimmten Locomotive ihre Grenzen hat, die in den Festigkeits- und Größenverhältnissen einzelner Theile bedingt sind, daß also besondere Anforderungen auch besondere Verhältnisse nöthig machen. Von der mittleren Art der Locomotiven, die eine mäßige Last mit mäßiger Geschwindigkeit fortziehen, läßt sich eine Steigerung der Anforderungen nach zwei Seiten hin denken.

Man kann einmal Locomotiven für große Geschwindigkeiten verlangen, dann solche für große Lasten. Wenn auch beide Locomotiven Kessel mit besonders großer Verdampfungskraft verlangen, also große Kessel mit vielen Heizröhren und großer Heizkammer, so haben sie doch sonst verschiedene Einrichtungen. Die Locomotiven für große Geschwindigkeit haben große Treibräder, mäßige Cylinder, mäßige Be-

lastung der Treibräder; hingegen Locomotiven für große Lasten haben weite Cylinder, mäßig hohe Treibräder, aber es sind noch ein Paar Fahrräder oder beide Paare von gleicher Höhe mit den Treibrädern und mit ihnen verkoppelt, so daß sich das ganze Gewicht der Locomotive der gleitenden Drehung der Räder entgegengesetzt, oft sogar sind die Räder des Tenders mit in diese Construction hineingezogen.

Zwischen diesen beiden extremen Arten der Locomotiven liegen nun einige Uebergangsformen, so daß wir im Allgemeinen folgende fünf Arten unterscheiden können: 1) Eillocomotiven, 2) Passagierlocomotiven, 3) Locomotiven für gemischte Züge, 4) Frachtlocomotiven und 5) Berglocomotiven.

Bevor wir nun zu der specielleren Beschreibung der einzelnen Theile der Locomotive übergehen, und ihre Verhältnisse und ihre Thätigkeit einer strengeren Rechnung unterwerfen, wird es zur Veranschaulichung des Obigen dienen, wenn wir über dasselbe einige allgemeine Maßverhältnisse angeben und einige überschlägliche elementare Rechnungen anstellen.

Bei einer mäßigen Locomotive hat der cylindrische Theil des Kessels etwa 7′ Länge, 3′ Weite und wird von etwa 120 Heizröhren zu 2″ Weite durchzogen; er faßt mit dem Wasserkasten zusammen etwa 40 Kubikfuß Wasser. Der Rost im Feuerkasten hat wohl 10 bis 12 □′ Fläche bei 3 □′ lichter Oeffnung; er wird $1\frac{1}{2}$ bis 2′ hoch mit Koks bedeckt. Die directe Feuerfläche beträgt etwa 35 □′, die indirecte aber 350 □′; setzt man 3 □′ der letzteren gleich 1 □′ der ersteren, so ist die gesammte reducirte Feuerfläche gleich 150 □′. Pambour setzt die Verdampfungsfähigkeit von 1 □′ reducirter Feuerfläche bei 30′ Geschwindigkeit (c. 20 engl. Meilen in der Stunde) gleich 0,4 Pfund Wasser; 150 □′ liefern also 60 Pfd. Dampf in der Minute. Auf 5 Pfund Dampf rechnet man 1 Pfd. Koks; hier wären also 12 Pfd. in jeder Minute nöthig. Im Anfange schüttet man etwa 480 Pfd. Koks auf, giebt dann nach etwa 10 Minuten 90 bis 100 Pfd. nach und läßt zuletzt nach je 7 Minuten etwa 30 Pfd. folgen. Zum Verbrennen von 1 Pfd. Koks gebraucht man etwa 240 Cubikfuß Luft; werden nun 12 Pfd. Koks in der Minute verbrannt, also $\frac{1}{5}$ Pfd. in der Secunde, so ist in jeder Secunde die Zuführung von 48 Cubikf. Luft nöthig. Da nun die lichte Weite des Rostes zu 3 □′ angenommen ist, so muß die Luft mit mindestens 16′ Geschwindigkeit durch den Rost ziehen; diese Geschwindigkeit ist also immer noch weit geringer als die Geschwindigkeit der Locomotive, die zu 30′ oben angenommen wurde; daher liefert diese Bewegung die nöthige Luftmenge vollständig herbei. Nimmt man nun an, daß 1 Pfd. Koks etwa 6400 w (Wärmeeinheiten) erzeugen so nehmen davon die 5 Pfd. Dampf $5 \times 640 = 3200$ w, also etwa nur die Hälfte in Anspruch, lassen wir von den übrigen 3200 w etwa 300 w sonst verloren gehen, so bleiben 2900 w für die zur Verbrennung verwandten 240 Cubikf. Luft übrig. Diese wiegen etwa 20 Pfd.; da nun 4 Pfd. Luft durch 1 w um 1° erwärmt werden, so folgt $\frac{2900}{5} = 580^0$ für die Temperatur der in die Rauchkammer eintretenden Luft. Bei dieser Temperatur ist die Luft etwa auf das 3fache Volumen ausgedehnt; die in der Secunde verbrauchten 48 Kubikf. haben also dann einen Umfang von 144 Kubikf. Der Querschnitt von 120 Röhren zu 2″ Weite ist etwa $2\frac{2}{3}$ □′, folglich hat die heiße Luft, wenn sie aus den Heizröhren

austritt, eine Geschwindigkeit von $\frac{144}{2^2/_3} = 54'$. Diese Geschwindigkeit muß beim Eintritt der Luft aus der Feuerkammer in die Feuerröhren noch größer sein, weil hier die Luft noch heißer und ausgedehnter ist. Da die indirecte Heizfläche 10 Mal größer ist als die directe, ihr Heizvermögen aber 3 Mal geringer, so geht $3^1/_3$ Mal mehr Wärme durch die Wände der Heizröhren in das Wasser als durch die Wände der Feuerkammer; von den 3200 w, die zum Wasser übergehen, kommen also $\frac{3^1/_3}{4^1/_3} \cdot 3200\ w = 2460\ w$ auf die Heizröhren. Die 20 Pfd. Luft enthalten also beim Eintritt in die Heizröhren noch $2900\ w + 2460\ w = 5360\ w$, haben mithin eine Temperatur von $\frac{5360}{5} = 1070^0$, also ein Volumen, das fast das 5fache des ursprünglichen ist.

Die Geschwindigkeit der Luft beim Eintritt in die Heizröhren ist somit $= \frac{5 \cdot 48}{2^2/_3} = 90'$.

Diese Steigerung der mit 16′ Geschwindigkeit in den Rost eintretenden Luft zu 90′ muß nun durch das Blaserohr geschehen, wozu noch kommt, daß die Reibungswiderstände an den Wandungen der Feuerröhren auch überwunden werden müssen. Die Luft, welche nun mit 54′ Geschwindigkeit in die Rauchkammer eindringt, muß ihre Geschwindigkeit abermals steigern, da der Schornstein etwa nur 1 □′ Querschnitt hat; achten wir auf die im Schornstein eintretende Abkühlung nicht, so muß die Geschwindigkeit der Luft im Schornstein $= 54 \cdot 2^2/_3 = 144'$ betragen.

Von dem Wasser, das verbraucht wird, gehen gewöhnlich 75 Proc. als Dampf fort und 25 Proc. werden als Wasser mechanisch mit fortgerissen. Werden nun 60 Pfd. Dampf in der Minute verbraucht, so gehen noch 20 Pfd. Wasser mit fort, der Wasserverbrauch beträgt also in der Minute 80 Pfd. oder etwa $1^1/_5$ Cubikfuß. Beim Abfahren steht der Wasserspiegel etwa 6″ über der Feuerdecke, die Fläche des Wasserspiegels beträgt dann etwa 28 □′, folglich fällt derselbe in jeder Minute um $\frac{1^1/_5}{28} = \frac{3}{70}$ Fuß oder etwa um $^1/_2$ Zoll. Es kann also die Dampfbildung recht gut 6 Minuten fortgehen, ohne daß neues Wasser in den Kessel gelassen wird, es würde der Wasserspiegel immer noch 3″ über der Feuerdecke stehen. Um den Einfluß zu erkennen, den der Zufluß von neuem Wasser auf die Dampfbildung hat, wollen wir zunächst annehmen, das Kesselwasser habe 150° und das Speisewasser habe 50° Temperatur. Kommt kein Wasser in den Kessel, so können in der Minute von dem 150° heißen Wasser — wenn wir die obigen Zahlenwerthe festhalten — $\frac{3200 \cdot 12}{640 - 150} = 78$ Pfund Dampf entstehen. Läßt man aber in der Minute 80 Pfd. Wasser eintreten, so nehmen diese $80 \times 100\ w = 8000\ w$ in Anspruch, um bis 150° erwärmt zu werden, es bleiben von den $12 \times 3200\ w = 38400\ w$, die von der Feuerung aus

in den Kessel dringen, nur noch 30400 w übrig, und diese lassen $\frac{30400}{640 - 150}$ = 62 Pfd. Dampf entstehen. Nun soll aber jede Pumpe so eingerichtet sein, daß sie allein mehr als den vollen Bedarf an Wasser liefern kann; nehmen wir nun an, jede Pumpe könne in jeder Minute 160 Pfd. Wasser liefern und beide Pumpen würden in Thätigkeit gesetzt, so stiege der Wasserspiegel in der Minute zwar um 2 Zoll, die Dampfproduction würde aber auf $\frac{38400 - 4 \,.\, 8000}{640 - 150} = 13$ Pfd. beschränkt. Hieraus kann man erkennen, welches kräftige Mittel zur Mäßigung der Dampfproduction in der Wasserzuleitung besteht.

Die Dampfspannung kann verschieden sein und ist von den oben angegebenen Zahlen wenig abhängig, denn dasselbe Gewichtsquantum Dampf enthält dieselbe Wärmemenge bei hoher und bei niederer Spannung und kann auch in beiden Fällen fast durch dasselbe Quantum Feuerungsmaterial erzeugt werden. Die gewöhnliche Spannung im Dampfkessel beträgt 5 bis 6 Atmosphären, doch geht man (namentlich in England) selbst bis $9^1/_6$ Atmosphären hinauf. Die Spannung in den Cylindern ist, wie schon oben angeführt ist, geringer als im Kessel und lediglich von der Größe der zu überwindenden Hindernisse abhängig. Die Cylinder sind etwa 2′ lang, 11 bis 13″ weit, und haben eine Hubhöhe von etwa 18″; die Kurbellänge am Treibrade ist also 9″. In der Secunde finden gewöhnlich 2 bis $2^1/_2$ Kolbenspiele, also eben so viele Umgänge des Treibrades statt, welche Zahl nicht wohl über 3 gesteigert werden darf.

Wir wollen nun ausgehend von einigen Geschwindigkeiten unserer Locomotive, die diesen Geschwindigkeiten entsprechende Zugkraft und Dampfspannung überschläglich angeben. Dabei wollen wir der Einfachheit wegen die Kolbenfläche zu 1 □′ annehmen, was einer Cylinderweite von nicht ganz 14″ entspricht. Die Hubhöhe sei 18″, der Durchmesser der Treibräder 5′. Nehmen wir an, die Geschwindigkeit der Locomotive sei 20′, also eine deutsche Meile in 20 Minuten. Die Treibräder haben eine Peripherie von etwa $15^5/_7$ Fuß, machen also in der Minute etwa $76^1/_3$ Umdrehungen; bei jeder Umdrehung füllt sich jeder Cylinder zwei Mal mit Dampf, die Capacität des Cylinders ist $1^1/_2$ Cubikfuß, folglich verbraucht jede Umdrehung des Treibrades 6 Cubikf. Dampf; dies giebt auf die Minute $6 \times 76^1/_3 = 458$ Cubikf. Dampf. Werden die 60 Pfd. Dampf, welche der Kessel erzeugt auch verbraucht, so muß der Dampf im Cylinder noch eine Dichte behalten, bei welcher $\frac{458}{60} = 7{,}63$ Cubikfuß ein Pfund wiegen. Bei dieser Dichte hat der Dampf eine Spannung von etwa 3,8 Atmosphären. Hiervon muß in Abzug kommen 1 Atmosphäre für den Gegendruck der atmosphärischen Luft, etwa $^1/_3$ Atmosphäre als Rückwirkung des Dampfes vom Blaserohr und eben so viel zum Betrieb der Wasserpumpe; somit bleiben als wirksamer Dampfdruck noch etwa 2,1 Atmosphären. Der active Ueberdruck gegen beide Kolbenflächen beträgt sonach, den Atmosphärendruck zu 15 Pfd. für den Quadratzoll gerechnet: $2 \,.\, 144 \,.\, 15 \,.\, 2{,}1 = 9072$ Pfd. Ziehen wir hiervon wegen der Kolbenreibung $^1/_9$ ab, so bleibt 8064 Pfd. Dieser Druck macht während einer Umdrehung der Treibräder einen Weg gleich der doppelten Hubhöhe, also von 3′, hingegen legt

in dieser Zeit der gesammte Zug einen Weg gleich der Peripherie der Treibräder, also gleich $15^3/_7$ zurück, so daß sich hieraus als die Zugkraft der Locomotive ergiebt: $\frac{8064 \cdot 3}{15^3/_7}$ = etwa 1540 Pfd. = 14 Ctr.

Nehmen wir nun an, daß auf horizontaler Eisenbahn 1 Pfd. Zugkraft eine Wagenlast von 250 Pfd. fortziehen kann, so ist die in unserem Falle zu bewältigende Gesammtlast = 385000 Pfd. = 3500 Ctr. Die Belastung beider Treibräder muß aber mindestens 6 × 14 = 84 Ctr. betragen. Da beide Treibräder im Maximum etwa mit 240 Ctr. belastet werden können, so ist die Belastung mit 84 Ctr. eine verhältnißmäßig noch geringe. Da man gewöhnlich die Treibräder mit 0,45 vom Gewicht der ganzen Locomotive belastet, so brauchte in unserem Falle die Locomotive nicht schwerer zu sein als $\frac{20}{9}$. 84 = 187 Centner. (Die ersten Locomotiven waren etwa 120 Ctr. schwer, jetzt steigert man das Gewicht oft bis auf 700 Ctr.) Setzen wir nun das Gewicht der Locomotive mit dem Tender gleich 300 Ctr., so bleibt als Nutzlast 3200 Ctr. oder eine Reihe von 16 Wagen zu 200 Ctr. Bruttogewicht.

Es sei jetzt die Geschwindigkeit der Locomotive 30′, d. i. eine deutsche Meile in $13^1/_3$ Minute, oder $4^1/_2$ Meile in einer Stunde. Die Treibräder machen dann in der Secunde etwa $1^{10}/_{11}$, also in der Minute $114^1/_2$ Umdrehung. Die Cylinder verlangen in der Minute 6 × $114^1/_2$ = 687 Cubikfuß Dampf; wiegt dieser 60 Pfd., so kommen auf 1 Pfd. jetzt 11,45 Cubikf. Dampf. In dieser Dichte hat der Dampf eine Spannung von 2,46 Atmosphäre. Rechnen wir wegen der größeren Geschwindigkeit des Zuges die Wirkung des Blaserohrs nur zu $^1/_4$ Atmosphäre, die der Wasserpumpe wegen der geringeren Dampfspannung auch zu $^1/_4$ Atmosphäre, so bleibt für die wirksame Dampfspannung 2,46 — 1,5 = 0,96 Atmosphäre, der Dampfüberdruck ist also in beiden Cylindern 2 . 144 . 15 . 0,96 = 4147 Pfd.; nach $^1/_9$ Abzug wegen der Kolbenreibung bleibt 3686 Pfd. Uebertragen wir diesen Kolbendruck auf die Radaxe, so bleibt $\frac{3686 \times 3}{15^3/_7}$ oder $703^1/_2$ Pfd. oder $6^2/_5$ Ctr., hieraus folgt die Totallast der Locomotive zu 250 × $6^2/_5$ Ctr. = 1600 Ctr. Ziehen wir hiervon 300 Ctr. für Locomotive und Tender ab, so bleibt als Nutzlast 1300 Ctr., oder $6^1/_2$ Wagen zu 200 Ctr. Bruttogewicht.

Nehmen wir nun die Geschwindigkeit zu 40′ an, so legt die Locomotive in der Stunde 6 deutsche Meilen zurück, braucht aber in der Minute 916 Cubikfuß Dampf, so daß jetzt 15,26 Cubikfuß ein Gewicht von einem Pfunde haben. Die dieser Dichte entsprechende Dampfspannung ist 1,75 Atmosphäre, und setzen wir den Widerstand des Blaserohrs und der Wasserpumpe zu je $^1/_3$ Atmosphäre, so bleibt als wirkende Dampfspannung 0,35 Atmosphäre zurück. Dieser Spannung entspricht ein Ueberdruck von 2 . 144 . 0,35 . 15 = 1512 Pfd. Ziehen wir wegen der Reibung wieder $^1/_3$ ab, so bleiben 1344 Pfd., diese auf die Radaxen übertragen, geben eine Zugkraft = $\frac{1344 \cdot 3}{15^3/_8}$ = $256^1/_2$ Pfd. oder $2^1/_3$ Ctr. Die Totallast ist somit 583 Ctr., also die Nutzlast 283 Ctr. Die Locomotive

könnte also bei dieser Geschwindigkeit nicht viel mehr als **einen** Wagen zu 200 Ctr. Bruttogewicht fortziehen.

Vergleichen wir die drei gefundenen Resultate:

Geschwindigkeit 20′, Nutzlast 3200 Ctr.,
" 30′, " 1300 "
" 40′, " 283 "

so sehen wir, daß bei steigender Geschwindigkeit die Nutzlast in viel stärkerem Verhältniß abnimmt, als die Geschwindigkeit zunimmt, so daß sehr bald die Locomotive das Maximum der Geschwindigkeit erreicht haben wird; alsdann wird sie nur sich und den Tender, aber keine Nutzlast weiter fortzuziehen im Stande sein.

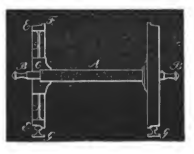
Weiter ergiebt sich, daß der Nutzeffect der Locomotive dann am größten ist, wenn sie sich langsam bewegt, ein Verhältniß, das zwar auch bei der feststehenden Dampfmaschine gilt, aber hier noch im höheren Maße.

Es braucht wohl kaum wiederholt zu werden, daß vorstehende Rechnungen nur überschlägliche sein sollen, um das gegenseitige Verhältniß der Vorgänge anschaulich zu machen; strengere Rechnungen erfordern ein genaues Eingehen auf diese Vorgänge selbst.

II. Specielle Erörterung der einzelnen Locomotivtheile.

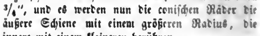
Räder und Axen. Die ersten Locomotiven hatten 4 Räder. Nach dem Unglück auf der Versailler Bahn (8. Mai 1842) mußten die Locomotiven mindestens 6 Räder haben, weil dann das Brechen einer Axe weniger gefährlich ist. Will man besonders schwere Locomotiven bauen, so wendet man wohl auch 8 Räder an, um mehrere Paare belasten zu können, und verbindet dann oft zwei Paar zu einem besonderen Wagengestell. Die Höhe der Fahrräder ist etwa 3′, die der Treibräder steigert man gern bei Locomotiven zu schneller Bewegung, doch darf man dieselbe nicht gut höher nehmen, als das $1^1/_2$fache der Spurweite beträgt; diese ist $= 4'\ 8^1/_2''$ engl. $= 1{,}435^m =$ fast 4′ 7″ rh.; deshalb wäre das Maximum der Höhe für Treibräder 7′, obwohl auch dieses hie und da überschritten wird. Ein Treibrad darf nicht wohl mehr als 3 Umdrehungen in der Secunde machen, bei einer Höhe von 7′ entspräche diese Umdrehungszahl einer fortschreitenden Geschwindigkeit von etwa 66′; d. i. von fast 10 deutschen Meilen in der Stunde.

Die Fahrräder mit ihren Axen haben im Allgemeinen die Einrichtung der gewöhnlichen Räder für Eisenbahnwagen. In beistehender Figur bezeichnet A die schmiedeeiserne Axe, die in der Mitte etwas schwächer als in den Radnaben ist. B B sind die Axenschenkel, auf denen die Schmierbüchsen ruhen, C ist die gußeiserne Nabe, D sind die schmiedeeisernen Speichen, die der Festigkeit wegen einen doppelt T förmigen Querschnitt erhalten und beim Guß der Nabe mit dieser verbunden werden. Je zwei und zwei Speichen sind nach außen durch einen Bogen verbunden und auf diese Verbindungsstücke wird der

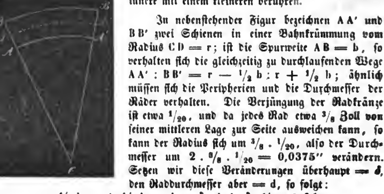


ebenfalls schmiedeeiserne Radkranz aufgenietet. F ist der an der inneren Seite hervorstehende Spurkranz, der die Räder auf den Schienen G zurückhalten kann.

Der Umfang der Radkränze ist nicht rein cylindrisch, sondern conisch, mit der nach außen gekehrten Verjüngung, damit die Räder beim Fahren an einer Bahnkrümmung nicht schleifen. Denn die Räder auf der äußeren Schiene müssen hier gleichzeitig einen größeren Weg zurücklegen als die auf der inneren, und das ist bei der festen Verbindung der Räder mit der Axe nur möglich, wenn die äußeren Räder einen größeren Durchmesser haben. Beim Fahren auf einer Krümmung wird der Wagen durch die Centrifugalität nach der äußeren Seite gedrängt, dabei haben die Eisenbahnräder zwischen den Schienen einen Spielraum von etwa $^3/_4$'', und es werden nun die conischen Räder die äußere Schiene mit einem größeren Radius, die innere mit einem kleineren berühren.



I.



In nebenstehender Figur bezeichnen A A' und B B' zwei Schienen in einer Bahnkrümmung vom Radius C D = r; ist die Spurweite A B = b, so verhalten sich die gleichzeitig zu durchlaufenden Wege A A' : B B' = r — $^1/_2$ b : r + $^1/_2$ b; ähnlich müssen sich die Peripherien und die Durchmesser der Räder verhalten. Die Verjüngung der Radkränze ist etwa $^1/_{20}$, und da jedes Rad etwa $^3/_8$ Zoll von seiner mittleren Lage zur Seite ausweichen kann, so kann der Radius sich um $^3/_8 \cdot ^1/_{20}$, also der Durchmesser um $2 \cdot ^3/_8 \cdot ^1/_{20} = 0{,}0375''$ verändern. Setzen wir diese Veränderungen überhaupt = δ, den Raddurchmesser aber = d, so folgt:

$$r - \tfrac{1}{2} b : r + \tfrac{1}{2} b = d - \delta : d + \delta; \text{ hieraus folgt:}$$

$$r = \frac{b d}{2 \delta}$$

Nun ist $b = 55''$, $d = 36'$, $\delta = 0{,}0375''$, also $r = 2200'$.

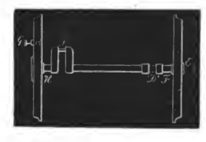
So lange also der Krümmungshalbmesser der Bahn größer als 2200' bleibt, wird die Conicität der Räder vollkommen ausreichen, ein Schleifen der Räder zu verhüten, wird aber die Krümmung stärker, der Radius also kleiner, so muß damit ein theilweises Schleifen entweder der äußeren oder inneren Räder, so wie hierdurch ein Torsionsbestreben der Axe eintreten.

II.

Die Axen der Treibräder haben eine abweichende Construction, es sind hier folgende Fälle zu unterscheiden: 1) Liegen die Treibstangen außerhalb der Treibräder, so haben sie ihren Angriff an der Kurbelwarze A (in nebenstehender Fig. II.), welche im Nabenkörper des Rades befestigt ist. Die Axenschenkel und Schmierbüchsen können aber dann nicht gleichzeitig an der äußeren Seite liegen, sondern liegen an der inneren

Seite bei C, C, im übrigen kann die Axe zwischen den Rädern ganz gerade gemacht werden.

2) Liegen die Treibstangen zwischen den Rädern, so haben sie ihren Angriff in einer Kurbel, die Axe ist dann zwei Mal gekröpft, bei D und D' in beistehender Figur, so aber, daß die beiden Kurbeln einen rechten Winkel mit einander bilden. Die Axenschenkel können dann entweder an der äußeren Seite des Rades liegen, wie gewöhnlich, bei E, oder sie liegen an der inneren Seite, zwischen dem Rade und der Kurbel, bei F.

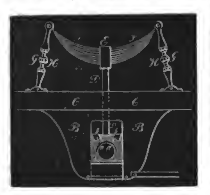


3) Ist das Treibrad noch durch eine Kuppelstange mit einem anderen Rade verbunden, dann haben Treibstange und Kuppelstange entweder einen gemeinschaftlichen Angriff an einer Warze oder einer Verkröpfung, oder die eine greift in eine Warze, die andere in ein Knie ein. Diese Einrichtung zeigt die linke Hälfte von beistehender Figur. Auf den Axen befinden sich noch die Scheiben für die Schieberexcentriken. Liegen die Treibräder zwischen den beiden Paaren der Fahrräder, so können bei ihnen die Spurkränze wegfallen, weil das hintere und vordere Räderpaar die Locomotive schon vor dem Entgleiten bewahren.

In der Regel zieht man die geraden Axen den gekröpften vor. Gerade Axen lassen sich leichter und solider anfertigen, man kann sie näher an den Feuerkasten rücken, auch kann man dann den Kessel um 1 bis $1^1/_2$' tiefer legen, so daß die Maschine weniger hoch wird. Die wichtigsten Theile sind dann leicht zugänglich, lassen sich gut verschmieren und repariren. Gegen die geraden Axen wird zwar vorgebracht, daß die Cylinder dann außen liegen müssen und zu sehr der Abkühlung ausgesetzt sind, so wie, daß die an der äußeren Seite der Maschine wirkenden Triebkräfte das sogenannte Schwänzeln der Locomotive, ein abwechselndes Schwanken nach rechts und links begünstigen. Diese Nachtheile lassen sich aber leicht vermindern und sind überhaupt geringer als die Vortheile, welche gerade Axen besitzen. Die Haupteigenschaft derselben ist ihre Festigkeit; deshalb nimmt man das beste Eisen zu ihnen und verwendet auf ihre Verfertigung besondere Sorgfalt; aber dennoch können Axenbrüche nicht vollständig vermieden werden. Es liegt das in einem eigenthümlichen Vorgange. Während des längeren Gebrauches ändert sich durch die vielen Erschütterungen, welchen die Axen ausgesetzt sind, ihr faseriges Gefüge allmälig in ein krystallinisches um; es findet also in diesem so festen Köeper eine kleine Bewegung der Moleeüle unter einander statt, wodurch sich die Bruchfestigkeit derselben vermindert; und die Axen brechen dann später bei einer Kraft, die geringer ist als solche, welcher sie früher vollständig widerstehen konnten.

Schmierbüchse und Druckfeder. Die Schmierbüchse (engl. oilboxes, franz. boîtes à graisse) A (s. umstehende Figur) ist mittelst Falz und Nuth beweglich zwischen den Leitungsplatten oder Axenhaltern (engl. guiding-plates, franz. plaques de garde) angebracht, deren Festigkeit ein Verschieben der Schmierbüchsen nach vorn oder hinten oder zur Seite verhütet. Die Axenhalter selbst sind an die Langschwellen C des Rahmens befestigt. Die Schmierbüchsen sind in der Regel

aus Gußeisen, enthalten an der inneren Seite das Axenfutter a aus Bronze und über demselben die Schmiertröge b, b, aus denen Canäle in den Axenraum führen. Der starke schmiedeeiserne Bolzen D ist mit der Schmierbüchse verbunden, und hält mittelst des Ringes E die Druckfeder F. Der Bolzen D geht frei durch den Rahmen C. Die Feder F besteht aus 10 bis 20 Stahlschienen von $^1/_4$ bis $^1/_2$ Zoll Stärke und 3 bis 4 Zoll Breite; die oberen dieser Stahlschienen haben eine Länge von 3 bis 5 Fuß und eine Bogenhöhe von 3 bis 5 Zoll, die darunter liegenden Schienen nehmen allmälig an Länge ab, so daß die Feder an den Enden 1 bis 2" dick ist, in der Mitte aber 4 bis 7". Der Rahmen ist durch die Hängebolzen G, G, welche durch die Schrauben H, H verkürzt oder verlängert werden können, an den Federenden aufgehangen, so daß jede Erschütterung der Radaxe erst durch die Feder F hindurch muß, um das Wagengestell berühren zu können.



Bei den Maschinen von Crampton hängt das Gestell nicht an den Federenden, sondern drückt von oben darauf und die Feder liegt mit ihrer Mitte unterhalb der Schmierbüchse. Auf der Bahn von Straßburg nach Paris befindet sich eine Locomotive, bei welcher der Rahmen nur auf drei Federn ruht. Die 4 Fahrräder sind zu einem besonderen Gestell vereinigt, welches zwei Federn in gewöhnlicher Weise besitzt, die Treibaxe aber trägt eine einzige große quergestellte Tragfeder. Hierdurch will man nicht nur eine gleichmäßigere Vertheilung der Last erreichen, sondern auch die Sicherheit, daß die vermittelnde Axe bei einem Gleiten der Räder nicht bricht.

Kessel. Der Feuerkasten (engl. firebox, franz. foyer, boite à feu) muß, weil er unmittelbar dem Feuer ausgesetzt ist, die größte Stärke haben. Die Bleche, aus denen der innere Kasten zusammengenietet wird, sind $^1/_2$ bis 1" stark und von Kupfer, weil dieses Metall dem Feuer besser widersteht als Eisen; besonders stark nimmt man die Röhrenplatte, weil diese durch die vielen Oeffnungen für die Heizröhren geschwächt wird, und eben so auch die Feuerdecke. Letztere ist nach innen gebogen, und wird durch mehrere schmiedeeiserne Brückenstäbe von 4" Höhe und 1" Dicke verstärkt; dieselben liegen in Abständen von 4 bis 6 Zoll neben einander und sind mit der Feuerdecke vernietet. Außerdem wird die Feuerdecke noch durch einige Streben geschützt. Die wenigen Sprengungen von Locomotivenkesseln, die vorgekommen sind, scheinen von der Feuerdecke ausgegangen zu sein, daher diese besonders geschützt werden muß. Die Weite des Feuerkastens und die Größe der Roststäche hängt von der Heizfläche ab, die der Kessel bekommen soll, jene nimmt man gleich $^1/_{52}$ dieser. Die Roststäbe werden aus gewalztem oder geschmiedetem Eisen gemacht, sie sind 4" hoch, oben $^3/_4$ bis 1" breit (0,025^m), unten hingegen $^3/_8$ bis $^5/_8$ dick; der leere Raum zwischen ihnen ist 1 bis $1^1/_2$' breit (0,03^m bis 0,05^m). Die Entfernung des Rostes von der unteren Röhren'

reihe beträgt etwa 1′ 8″. Bis zu dieser Röhrenreihe, zuweilen noch etwas höher, wird der Rost mit Koks angefüllt.

Da die Seitenwände des äußeren Feuerkastens denen des inneren parallel gehen und an vielen Stellen eben sind, so würden sie den starken Dampfdruck nicht zu ertragen vermögen, wenn nicht die parallelen Wände mittelst kupferner **Stehbolzen** (engl. stays, franz. entretoises) verbunden wären; dieselben sind $^3/_4$″ stark und stehen um 4″ von einander ab. Unten ist der Wasserkasten durch einen Kranz geschlossen, der an die Wände der beiden Feuerkasten angenietet ist und wiederum mit dem Rost zusammenhängt. Eben so ist in die Oeffnung für die Heizthür ein eiserner Ring zur Verbindung der inneren und äußeren Wand eingesetzt.

Der cylindrische Theil des Kessels wird wie gewöhnlich aus Kesselblech zusammengesetzt. Anstatt die Blase mit ihren Blechen über einander zu legen und dann zu vernieten, haben **Sharp** und **Roberts** die Bleche mittelst Blechstreifen und zwei Nietreihen an einander genietet. Die innere Fläche bleibt dann eben und läßt sich leichter reinigen. Die Dicke der Kesselbleche hängt natürlich von der Weite des Kessels und dem Dampfdruck ab. Bezeichnet d den Durchmesser des Kessels, δ die Dicke der Bleche, p den Dampfdruck und k die absolute Festigkeit des Eisens, so muß $dp = 2\delta k$ sein *). Es ist demnach $\delta = \frac{dp}{2k}$. Die äußersten Verhältnisse, die vorgekommen sind, sind $d = 5^1/_3{}' = 64''$, und $p = 8{,}16$ Atmosphären $= 122{,}5$ Pfund; für Blecheisen setzt man $k = 9000$ Pfd.; nach diesen Werthen ergiebt sich 0,44 Zoll. Zu gewöhnlichen Locomotivkesseln nimmt man Blech von $^1/_4$ bis $^1/_3$″ Stärke, und in England geht man bei den stärksten Kesseln nicht über $^7/_{16}$″ hinaus; die französischen Kessel sind um $^1/_3$ stärker als die englischen.

Die Feuerröhren sind $1^1/_2$ bis 2″ weit, von Messing, und obwohl die Festigkeit des Messings kaum $^1/_3$ von der des Eisens beträgt, so reicht für die Heizröhren eine Blechstärke von 1‴ vollkommen aus. Schwierig ist die Einfügung der Röhren in die beiden Bodenplatten, so daß keine bei dem starken Druck und der veränderlichen Ausdehnung des Metalls in der Wärme Wasser durchlasse. Man paßt sie genau in die Löcher der Platte ein und befestigt sie durch eingetriebene Stahlringe mit conischem Rand (viroles) (vergl. nebenstehende Figur). Früher nahm man Kupfer zu diesen Röhren, **Stephenson** nimmt gezogene eiserne Röhren, doch verbrennen diese schneller und leiten auch die Wärme schlechter. Die Röhren müssen von Zeit zu Zeit erneuert werden; berstet eine einzelne, so kann man in die hintere und vordere Oeffnung einen hölzernen Pfropfen eintreiben, der dann durch das in ihn eindringende Wasser gegen das Verbrennen geschützt wird. Den kürzesten Abstand zweier Röhren von einander nimmt man zu 7 bis 8‴ an, wonach man für einen gegebenen Durchmesser des Kessels die mögliche Anzahl der Röhren



*) Die Kraft, welche den Kessel der Länge nach aufzureißen strebt, ist dem Dampfdruck gleich, der gegen eine Fläche vom Arenschnitt des Kessels gerichtet ist. Ist l die Kessellänge, so ist dieser Druck p l d; die widerstehende Kraft liegt auf beiden Seiten des Kessels und hat einen Querschnitt 2 l δ.

leicht angeben kann. Gewöhnlich beträgt diese Zahl 80 bis 150, doch steigert sich die Zahl in seltenen Fällen bis 250, ja bis 300. Bei 2" Weite liefern 100 Röhren auf jeden Fuß ihrer Länge etwa 52 Quadratfuß Fläche, bei 9' Länge würden 150 Röhren also eine indirecte Heizfläche geben von 700 Quadratfuß.

Zu den Wänden der Rauchkammer und des Schornsteins (Esse) wendet man Eisenblech von 2''' Dicke an, und die hintere Rauchkammerplatte, weil sie Bodenplatte des Kessels ist, wird $^3/_4$" stark gemacht. Die Esse enthält noch ein Drahtgitter, um das Auswerfen glühender Kohlenstücke zu verhüten, und eine Klappe für den Abschluß während des Stillstandes der Maschine. Zuweilen ist der Schornstein noch mit dem sogenannten Klein'schen Funkenfänger versehen, der wesentlich in einem Leitschaufelapparat besteht, welcher zwischen die beiden Kegelmäntel A, B in nebenstehender Fig. I. eingesetzt ist. Durch ihn kommt der Rauch in eine drehende Bewegung und wirft die glühenden Kohlentheile gegen den Mantel C, C des Schornsteines, an dem sie niederfallen. Dieser Mantel hat unten eine Thür D, durch welche die Aschentheile von Zeit zu Zeit entfernt werden können. Zur Feuerung verwendet man meistens Koks, weil er wenig Rauch erzeugt, der bei Anwendung der Steinkohle die Feuerröhren bald verrußen würde; außerdem bäckt Steinkohle leicht zusammen und ihr Schwefelgehalt würde das Kupfer angreifen. Bei Holzfeuerung muß der Feuerraum etwas weiter sein, eben so bei Anwendung von Torf oder Braunkohle.

I.



II.

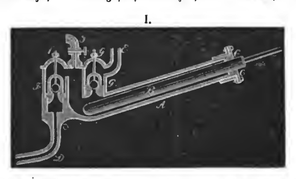


Die Verbindung des Kessels A in nebenstehender Fig. II. mit dem Gestellrahmen geschieht durch starke Eisenstücke, die einerseits bei C mit dem Kessel vernietet, andererseits bei D mit dem Gestell durch Schraubenbolzen verbunden sind. Damit sich der Kessel in der Hitze ohne Nachtheil ausdehnen kann, sind die Bolzenlöcher etwas länglichrund gearbeitet.

Die Speisepumpe. Umstehende Fig. I. giebt den Durchschnitt einer Speisepumpe an. A ist der Pumpenstiefel, B der massive Kolben, der sich bei C in einer Stopfbüchse bewegt. Wenn die Bewegung unmittelbar von der Dampfkolbenstange übertragen wird, so muß der Stiefel parallel dem Dampfcylinder liegen, und die Hubhöhe des Pumpenkolbens ist gleich der des Dampfkessels. Selten wendet man eine Hebelverbindung an, um dem Pumpenkolben einen geringeren Hub zu geben, oder läßt ihn durch ein Excenter treiben. D ist die Saugröhre, die das Wasser aus dem Tender herbeiführt, sie ist von Kupfer und $1^1/_2$ bis 2 Zoll weit; eben so weit ist das Druckrohr E. Das Saugventil F und

das Druckventil G sind Kugelventile, welche in einem durchbrochenen Gehäuse liegen; wegen des schnellen Ganges der Pumpe sind Kugelventile sicherer; die Schrauben f und g dienen dazu, die Ventilgehäuse nieder zu halten. Das Spiel der Pumpe

I.



ist leicht aus der Zeichnung zu erkennen. J ist ein Hahn, durch dessen Oeffnung der Stiefel mit der Luft in Verbindung gebracht werden kann, wenn man das Spiel der Ventile und damit die Bewegung des Wassers abstellen will. Der Durchmesser des Kolbens ist etwa 9 Mal kleiner als der des Dampfkolbens, folglich liefert eine Pumpe 160 Mal weniger Wasser, als ein Cylinder dem Volumen nach Dampf verbraucht; da aber Dampf von 5 Atmosphären Spannung immer noch 400 Mal mehr Raum einnimmt, als ein gleiches Gewicht Wasser, so würde eine Pumpe, selbst wenn die Cylinder mit stark gespanntem Dampfe arbeiteten, immer noch $1^1/_4$ Mal mehr Wasser liefern, als beide Cylinder verbrauchen. Bei Dampf von 3 Atmosphären Spannung, der etwa 600 Mal leichter als Wasser ist, würde also eine Pumpe allein schon bei stetem Gange etwa den doppelten Bedarf an Wasser liefern.

Bei der beschriebenen Einrichtung ließe sich der Kessel nur während der Bewegung mit Wasser speisen, um aber die Speisung auch in der Ruhe vornehmen zu können, so giebt es gewöhnlich auf den Bahnhöfen Standpunkte, wo die Treibräder sich, ohne die Schiene zu berühren, umdrehen und so die Pumpen in Bewegung setzen können. Da diese Einrichtung bei gekuppelten Rädern nicht anwendbar ist, so haben die Frachtlocomotiven oft noch einen kleinen Dampfcylinder besonders zum Treiben der Speisepumpe, oder es existirt eine Handpumpe zu diesem Zweck.

II.

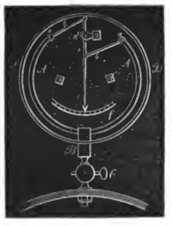


Sicherheitsventile und Manometer. Daß die Sicherheitsventile nicht durch Gewichte belastet sein können, sondern durch Federn gespannt werden, ist schon oben angeführt, so wie, daß das vordere mit Hülfe einer Federwage auch als Manometer gebraucht werden kann. Nebenstehende Fig. II. giebt die Einrichtung desselben an. A ist die Schraubenmutter, durch welche die Spannung

der Feder so weit herabgelassen werden kann, bis der Dampfdruck in B das Ventil C hebt. An der Federwage D läßt sich dann der Stand des Dampfdrucks erkennen.

Man hat auch vorgeschlagen, um die Dampfspannung zu erkennen, den Dampf auf einen kleinen Kolben wirken zu lassen, welcher durch eine Feder niedergedrückt wird. Das Ende der Kolbenstange könnte dann mit einer Scala verbunden sein, um daran die Stärke des Drucks abzulesen. Die Veränderlichkeit der Reibung, welche dieser Kolben zu überwinden hat, läßt dieses Instrument als unzuverlässig erscheinen.

Auch Thermometer, deren Kugeln in das Kesselwasser eingetaucht sind, können den Dampfdruck angeben, da dem hohen Dampfdruck auch — wenn der Dampf nicht überhitzt ist — eine höhere Temperatur des Kesselwassers entspricht. Doch sind diese Manometer nicht empfindlich genug. In der neueren Zeit sind die Manometer von Bourdon vielfach für Locomotivkessel in Gebrauch gekommen.



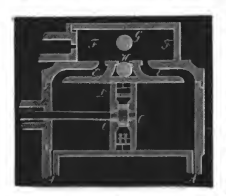
Der wesentliche Theil derselben ist eine ringförmige Röhre A, A (in nebenstehender Figur) von Messing, die an den Enden a, a geschlossen ist; durch die Röhre B communicirt sie mit dem Kessel, auf den der ganze Apparat aufgeschraubt ist; durch den Hahn C kann man Dampf in die Röhre A einlassen. Der Druck des Dampfes im Innern der Röhre wird die Gestalt der Röhre etwas ändern und die Endpunkte a, a von einander entfernen. Hierdurch wird mittelst der kleinen Stangen b, b der Hebel c um seinen Drehpunkt d bewegt, und das Zeigerende e des Hebels zeigt nun auf einen anderen Punkt der Scala f. Diese Scala wird nach einem Normalmanometer, wenn die Locomotive in Ruhe ist, empirisch entworfen. Ein Gehäuse D schließt den Metallring, den Zeiger und die Scala ein. Es leuchtet ein, daß die Elasticität der Metallröhren mit der Zeit nachläßt, so daß von Zeit zu Zeit die Richtigkeit der Scala geprüft werden muß.

Dampfrohr und Regulator. Das Dampfrohr ist aus Kupfer, und anfangs $5^1/_2$″, nach seiner Gabelung $3^1/_2$″ weit, so daß der Querschnitt jedes Armes etwa $^1/_{10}$ der Kolbenfläche bildet. Die Verbindung der beiden Arme mit dem Hauptrohre wird durch ein gußeisernes Zwischenstück hergestellt. Der Anfang des Dampfrohrs, der aus dem Dome herabsteigt, heißt Dampfschlund. Damit der Dampf bei seinem Eintritt in den Dampfschlund nicht zu viel Wasser mit fortnehme, ist es gut, ihn durch einen Mantel mehrere Male auf- und absteigen zu lassen, bevor er vom Dampfrohr aufgenommen wird. Man hat vorgeschlagen, aus dem vorderen Theile des Dampfrohrs unmittelbar über der Feuerdecke eine Vorkammer zu bilden, um hier das mitgenommene Wasser in Dampf zu verwandeln. Doch ist diese Einrichtung nicht zu empfehlen, weil die nicht vom Wasser berührte Feuerdecke leicht glühend werden und bersten würde. Der Regulator kann aus einem Hahn, einem Ventil, einer Drosselklappe, oder wie gewöhnlich aus zwei kreis-

runden Scheiben mit ausgestoßenen Sectoren bestehen, die eine ist mit dem Dampfrohre unbeweglich verbunden, die andere nur ohne Axe drehbar, so daß diese Scheibe durch die Drehung dieser Axe mittelst einer Kurbel so gestellt werden kann, daß die Oeffnungen beider Scheiben entweder ganz, zum Theil oder gar nicht über einander stehen. Andere Locomotiven haben auf dem Dampfrohre einen Spalt, der mit einem Schieber nach Erfordern bedeckt werden kann.

Der Dom befindet sich meistens über dem Feuerkasten, weil hier das Wasser und der Dampf am heißesten sind, aber hier ist auch das Wasser in der heftigsten Bewegung und das Dampfrohr muß dann sehr lang sein, geht dann auch unter dem Fahrloch durch und erschwert die Kesselreinigung. Deshalb bringt man den Dom zuweilen in die Nähe des Schornsteins, wo man zwar weniger heißen Dampf, aber ruhigeres Wasser hat. Das Dampfrohr wird dann kurz, dagegen die Regulatorstange lang, dieselbe braucht dann nicht durch den Kessel zu gehen, sondern wird der Länge nach über denselben hingeführt, bis sie in den Dom eindringt. Crampton, der seine Cylinder in der Mitte der Kessellänge anbringt, stellt auch den Dom an diese Stelle, so daß das Dampfrohr nur aus dem Dom vertical herab in die Dampfkammer führt.

Die Dampfcylinder. Die Dampfcylinder sind von Gußeisen, selten über 2′ 2″ lang, wovon für den inneren Raum noch etwa 4″ für die Kolbendicke abgehen. Die Metalldicke beträgt fast 1″, da sie nach mehreren Jahren wieder ausgeschliffen werden müssen. Sie liegen entweder in der Rauchkammer, oder außerhalb derselben; im letzten Falle müssen sie mit Filz-, Holz- oder Blechmänteln gegen die Abkühlung gesichert sein. Die Deckel der Cylinder lassen sich öffnen; an beiden Enden sind Hähne A, A (s. nebenstehende Figur) zum Ablassen des angesammelten Wassers, außerdem sind Schmierhähne zum Schmieren der Kolben und Schieber vorhanden. Die Stopfbüchse zum Durchlassen der Kolbenstange ist von Messing und mit Dampfliederung versehen. Der Kolben besteht aus den beiden gußeisernen Kolbentellern C, C, die auf das etwas verstärkte Ende der Kolbenstange aufgesteckt sind und durch Schrauben D zusammengehalten werden. Zwischen ihnen liegen die beiden Liederungsringe neben einander, die aus Bronze, Gußeisen oder Stahl bestehen und gegen die Cylinderwand mittelst Federn angedrückt werden. Damit dieser Druck ein elastischer sei, ist jeder Ring einmal durchschnitten und in die Fuge drängt sich ein Keil, der von einer Feder gedrückt wird. Durch eine Schraube, die durch diese Feder geht, läßt sich die Spannung der Feder reguliren. E sind die Dampfwege, F die Dampfkammer, G die Mündung des Dampfrohrs und H die des Blaserohrs. Die Kolbenstange wird aus Schmiedeeisen oder Stahl in einer Stärke von $1^1/_4$ bis $1^3/_4$ Zoll gefertigt; am Ende derselben befindet sich ein schmiedeeisernes Querhaupt

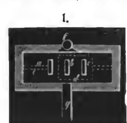


mit Leitungsbacken aus Gußeisen oder Bronze. Durch dieses Querhaupt und die dazu gehörigen Leitungsröhren erhält die Kolbenstange ihre Führung.

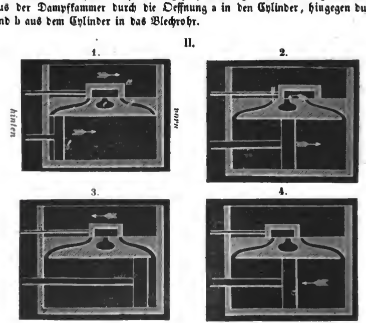
Der Leitungsrahmen besteht wesentlich aus zwei parallelen schmiedeeisernen oder stählernen Stäben, die sich einerseits an die Stopfbüchse des Cylinders, andererseits an den Gestellrahmen anschließen. Die innere Seite desselben, da wo die Leitungsbacken des Querhaupts sich reibend an ihm bewegen, ist meist mit Stahlschienen bekleidet. Auf der oberen Seite des Leitungsrahmens sind die für die Bewegung nöthigen Oelbecher angebracht. Das Querhaupt der Kolbenstange enthält noch ein großes Auge für die Einlenkung der Treibstange und seitlich ein kleineres für das Anschließen der Pumpenstange.

Die Dampfkammer und der Dampfschieber bieten keine besondere Eigenthümlichkeit. Die Dampfwege und ihre Oeffnungen müssen geräumig genug sein, um den Dampf aus der Dampfkammer schnell in die Cylinder zu lassen, die Oeffnungen haben die Gestalt schmaler Rechtecke, deren kleinste Dimension in der Richtung der Schieberbewegung liegt, damit sie durch eine kleine Bewegung der Schieber geöffnet und geschlossen werden können. Nebenstehende Fig. I. stellt einen Grundriß der Dampfkammer vor, a, b, c sind die Mündungen der Dampfwege, deren Länge etwa 6″ und Breite 1 bis $1^1/_2$″ beträgt; a und c führen in den Cylinder, b in das Blaserohr, dessen Anfang durch g angedeutet ist; f ist die Einmündung des Dampfrohrs. Das punktirte Rechteck d deutet den Dampfschieber an; in der gezeichneten Lage desselben bringt der Dampf aus der Dampfkammer durch die Oeffnung a in den Cylinder, hingegen durch c und b aus dem Cylinder in das Blechrohr.

I.



II.



Vorstehende Fig. II. 1, 2, 3, 4 giebt die verschiedenen Stellungen des Schiebers zu den Oeffnungen der Dampfwege an und die ihnen entsprechenden Lagen des Dampfkolbens. In (1) hat der Dampfschieber seine mittlere Stellung, er verschließt beide Dampfwege, der Kolben ist am hinteren Ende des Cylinders in der Umkehr begriffen. Der Dampfschieber bewegt sich alsobald nach vorn, öffnet den Dampfweg c und d, der Dampf tritt aus der Kammer durch c hinter den Kolben, treibt diesen nach vorn; der Kolben treibt aber den vor ihm befindlichen Dampf durch d und e in das Blaserohr. Schieber und Kolben nehmen bald die Lage in (2) an, man erkennt hier die eben beschriebene Dampfbewegung; der Schieber ist jetzt am weitesten vorgeschritten und in der Umkehr begriffen, der Kolben ist auf der Mitte seines Weges. Während dieser die zweite Hälfte des Weges zurücklegt, kehrt auch der Schieber um und verschließt die Dampfwege wieder. Diese Stellung zeigt Fig. 3, kein Dampf treibt den Kolben noch weiter nach vorn, er kann umkehren, er wird es, sobald der Schieber über seine Mittelstellung in (3) nur etwas nach hinten fortgeschritten ist; alsobald werden die Dampfwege wieder geöffnet, und zwar wie Fig. 4 angiebt, so daß frischer Dampf durch d vor den Kolben tritt und ihn wieder zurücktreibt. Der Mittelstellung des Kolbens in (4) entspricht wieder die am weitesten zurückgegangene Stellung des Schiebers, der jetzt wieder nach vorn umkehrt, und die Dampfwege schließt, während der Kolben seinen Rückweg vollendet. Schieber und Kolben haben dann die Stellung in (1) wieder angenommen, und die beschriebene Bewegung beginnt von neuem.

Hieraus ergiebt sich nun, daß der Schieber in der Mitte seiner Bewegung begriffen ist, wenn der Kolben an den Enden seiner Bahn sich befindet, und umgekehrt, daß der Kolben in der Mitte seiner Bahn steht, wenn der Schieber die Enden seines Weges erreicht hat. Dieses Verhältniß ist nur dadurch erreichbar, daß die Lage des Excentriks, durch welches der Schieber bewegt wird, einen rechten Winkel bilden muß mit der Lage der Kurbel, welche von der Kolbenstange und der Treibstange bewegt wird. Weiter folgt, daß der Schieber am schnellsten sich bewegen wird, wenn er in der Mitte seiner Bahn sich befindet, und am langsamsten am Ende derselben, deshalb wird das Oeffnen und Schließen der Dampfwege schnell vor sich gehen, was auch mit dem Bedürfniß der Maschine in Uebereinstimmung steht.

Beide Folgerungen erleiden aber in der praktischen Ausführung der Locomotivcylinder eine Modification. Zuerst hat die Erfahrung bewiesen, daß es für die Schnelligkeit des Kolbenwechsels von Vortheil ist, wenn das Oeffnen der Dampfwege nicht erst dann eintritt, nachdem der Kolben das Ende seiner Bahn erreicht hat, sondern wenn es kurz zuvor geschieht. Wenn der Kolben also im Begriff ist einen Hub zu beenden, aber noch einen kleinen Weg vor sich hat, dann öffnet man schon dem Dampf, der den Kolben bisher getrieben hat, den Weg zum Abzug, und bald darauf, aber immer noch vor Beendigung des Kolbenweges, tritt dem Kolben von der entgegengesetzten Seite frischer Dampf entgegen, bringt ihn zum Stehen und treibt ihn alsobald zurück. Das frühere Oeffnen der Dampfwege bedingt, daß der Schieber schon über der Mitte seiner Bewegung hinaus ist, wenn die Treibradskurbel in dem todten Punkte steht, demnach muß das Schieberexcentrik nicht einen rechten Winkel mit der Treibkurbel bilden, sondern einen stumpfen. Man nennt dieses Verhältniß das Voreilen des Schiebers.

Nun ist aber klar, daß dem früheren Eröffnen der Dampfwege auch ein früheres Schließen vorhergehen muß, es entsteht aber oft das Interesse, die Dampfwege, trotz der fortschreitenden Bewegung des Schiebers, eine Zeit lang geschlossen zu halten, um dem Dampf Gelegenheit zu geben, durch Expansion zu wirken, wodurch — wie aus der Lehre von der Dampfmaschine bekannt ist — bei sonst gleicher Wirkung eine Ersparniß an Brennmaterial entsteht. Man sperrt den Dampfzufluß aus der Dampfkammer in den Cylinder früher ab, als es die Rücksicht auf das Kolbenspiel verlangt, oft schon, wenn der Kolben erst einen kleinen Theil seines Weges zurückgelegt hat. Eine solche frühere Absperrung des Dampfes kann man nun erlangen durch Verbreiterung der Füße des Dampfschiebers, denn wollte man die Füße des Dampfschiebers nur so breit machen als die Oeffnungen der Dampfwege, so müßte das Schließen und Oeffnen des Dampfweges unmittelbar einander folgen, je mehr aber die Füße des Schiebers jene Oeffnungen überdecken, desto länger werden diese davon bedeckt bleiben. Zugleich ist man hierdurch im Stande, das Oeffnen des einen Weges zum Abzug für den gebrauchten Dampf früher eintreten zu lassen, als das Oeffnen des anderen Weges für den frischen Dampf, wovon oben die Rede war.

Es habe in beistehender Figur der Schieber CE seine Mittelstellung. Es sei nun von der Mitte A des Schieberweges aus die Entfernung des inneren Randes F und H der Dampfwege, also $AF = a$, die Breite der Oeffnung also FG und HJ sei $= b$; ferner sei die halbe innere Weite des Schiebers $AB = a'$, und die Breite eines Schieberfußes $BC = b'$. Es ist dann $AC = AE = a' + b'$,



und $AG = AJ = a + b$. Bezeichnen wir nun mit s' den Weg, den der Schieber von seiner Mittelstellung aus nach rechts machen muß, damit sich der Abzugsweg des Dampfes in HJ öffne, und mit s'' den Weg, den er zurücklegen muß, damit sich der andere Weg für den Zugang des Dampfes öffne, so folgt:

$$s' = DH' = a - a', \text{ und } \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

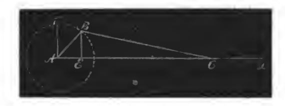
$$s'' = CG = a' + b' - (a + b) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Bezeichnen wir nun ferner mit σ den kleinen Weg, um welchen der Rand C des Schieberfußes in seiner Bewegung nach rechts über den Rand G der Oeffnung hinweggegangen sein muß, wenn der Kolben das hintere Ende seines Weges soll erreicht haben, und bezeichnen wir mit s_1 den Weg des Schiebers in diesem Augenblicke von seiner Mittelstellung aus gerechnet, so ist ebenfalls

$$s_1 = s'' + \sigma = (a' + b') - (a + b) + \sigma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Um hieraus nun die Stellung des Excenters näher zu bestimmen, müssen wir an eine einfache Formel aus der Lehre von der Kurbelbewegung erinnern.

Es sei AB in vorstehender Figur eine Kurbel, die sich um A dreht, BC seine Bläuelstange, CD eine andere Stange, die in der Richtung CD hin und hergeschoben wird. Betrachten wir die Bewegung eines beliebigen Punktes der



Stange CD und nehmen den Ort als Ausgangspunkt an, den er einnimmt, wenn die Kurbel AB die Lage AF senkrecht zu AD hat. Die Entfernung von dieser mittleren Stelle wird abhängen von dem Drehungswinkel BAF. Setzen wir $\triangle BAF = \alpha$, $AB = r$, $BC = l$, so ist:

$$AC = r \sin \alpha + \sqrt{l^2 - r^2 \cos \alpha^2},$$ oder annähernd, da in der Regel r gegen l gering ist:

$$= r \sin \alpha + l - \frac{r^2 \cos \alpha^2}{2l}$$

Für $\alpha = o$ ist $AC = l - \frac{r^2}{2l}$, also ist während der Bewegung der Kurbel von AF nach AB die Ortsveränderung s des Punktes C:

$$s = \left(r \sin \alpha + l - \frac{r^2 \cos \alpha^2}{2l}\right) - \left(l - \frac{r^2}{2l}\right),$$ oder

$$s = r \sin \alpha + \frac{r^2 \sin \alpha^2}{2l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Ist l gegen r sehr lang, so kann man auch das zweite Glied dieses Werthes vernachlässigen, dann ist:

$$s \doteq r \sin \alpha, \text{ oder } \sin \alpha = \frac{s}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5).$$

Diese Formeln lassen sich auf die Schieberbewegung anwenden, denn die Excentrikstange ist vielmal länger als der Kurbelradius des Excenters. Bezeichnet also s irgend einen Weg, den der Schieber von seiner Mittelstellung aus zurückgelegt hat, bezeichnet α den entsprechenden Drehungswinkel der Excenteraxe oder, was dasselbe ist, der Treibaxe, r den Radius des Excenters, so ist

$$\sin \alpha = \frac{s}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6),$$

Der Winkel α_1, der das Voreilen des Excenters bezeichnet, wird erhalten, wenn wir in Gleichung (6) für s den Werth s_1 aus (3) setzen; es ist also:

$$\sin \alpha_1 = \frac{(a' + b') - (a + b) + \sigma}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7).$$

Der Excenterradius muß also mit der Kurbel des Treibrades einen Winkel $90^0 + \alpha_1$ bilden, wenn der Schieber den verlangten Grad des Voreilens haben soll.

Die Formel (6) ist aber auch brauchbar, die Dauer der Dampfabsperrung und der des Dampfzuflusses zu bestimmen. Es ist klar, so lange s kleiner als s' ist, sind beide Dampfwege verschlossen, weil erst nach Zurücklegung des Weges s' der eine Weg sich öffnet, und daß beide Wege geöffnet sind, so lange s größer als s'' ist. Nimmt man nun $s' = a - a'$ verhältnißmäßig groß, so wird die Absperrung beider Oeffnungen lange dauern, und ist s'' groß, so wird die Oeffnung beider Wege nur kurze Zeit dauern, dabei darf aber nicht vergessen werden, daß $s'' > s'$ sein muß, weil der Abzugsweg früher geöffnet werden soll als der Zugangsweg.

Ist die Schieberstange unmittelbar ohne Zwischenhebel, mit der Excentrikstange verbunden, so ist der Weg, den der Schieber beschreibt, gleich der doppelten Excentricität, also gleich AB (s. beistehende Figur), wenn ADEBN die Peripherie des Kreises ist, welche der Mittelpunkt der Excenterscheibe um die Axe beschreibt; hat die Excentricität nach einander die Lagen CE, CF, CG, so sind die ihnen entsprechenden Wege des Schiebers von seiner Mittellage aus die Projectionen CH, CJ, CK, wenn die Excentricität in CB liegt, so wird der Schieber das eine Ende seiner Bahn erreicht haben. Setzen wir nun $CH = s'$, $CJ = s''$, $CK = s_1$, so wird, wenn die Excentricität in CE liegt, der Abzugsweg für den Dampf eröffnet, in der Lage CF wird der Zugangsweg eröffnet, und der Lage CG entspricht die Umkehr des Kolbens. Verlängert man die Perpendikel FJ und EH bis L und M, so giebt CL die Lage der Excentricität für den Augenblick an, in welchem der Dampfzufluß abgesperrt wird, und CM die Lage entsprechend der Absperrung des Dampfabflusses. Die Zeichnung auf der linken Seite von DN ist der auf der rechten genau entgegengesetzt. Für einen Umlauf des Excenters ergeben sich nun folgende Verhältnisse. Wenn die Excentricität in CG oder in Cg steht, befindet sich der Kolben an einem Ende seiner Bahn, $\angle DCG = \angle NCg$ bezeichnet also das sogenannte Voreilen des Schiebers. Bei der Bewegung von CF bis CL, und von Cf bis Cl findet Dampfzufluß statt, bei der Bewegung von CM bis Ce und von Cm bis CE findet vollständige Absperrung statt, und auf dem Wege von CE bis CF, CL bis CM, Ce bis Cf, Cl bis Cm ist der Abfluß geöffnet, aber der Zufluß verschlossen.



Setzen wir nun $\angle DCE = \alpha'$, $\angle DCF = \alpha''$, so ist, wenn $CA = S$ ist,

$$\sin \alpha' = \frac{a - a'}{S}, \quad \sin \alpha'' = \frac{a' + b' - (a + b)}{S}, \quad \ldots . \quad (8)$$

nun ist aber $\angle mCE = \angle MCe = 2\alpha'$, $\triangle eCF = \triangle LCf = 2\alpha''$, $\triangle FCL = \triangle fCl = 2(R - \alpha'')$, und es folgt nun:

Der jedesmalige Dampfzufluß findet statt während eines Drehungswinkels

$$2\,(R - \alpha'') = 2\left(90^0 - A \sin \frac{a'' + b' - (a+b)}{S}\right) = 2\,A \cos \frac{a' + b' - (a+b)}{S}$$

Die jedesmalige Absperrung des Dampfes findet statt bei einer Drehung von

$$2\,\alpha'' = 2\,A \sin \frac{a' + b' - (a + b)}{S}$$

Vollständiger Verschluß beider Dampfwege findet statt bei einer Drehung von

$$2\,\alpha' = 2\,A \sin \frac{a - a'}{S} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9).$$

Mit Hülfe dieser Formeln kann man nun a, b, a', b' so wählen, daß das Verhältniß der Absperrung des Dampfes das gerade gewünschte werde. Für den Moment der Umkehr des Kolbens nimmt man gern die Oeffnung des Zuflußweges $= \frac{1}{100}$, und die des Abflußweges $= \frac{1}{20}$ des ganzen Schieberweges, da dieser nun $= 2\,S$ ist, so ergeben sich noch folgende Gleichungen:

$$\sigma = \frac{1}{50}\,S.$$

$$s'' - s' + \sigma = \frac{1}{10}\,S.$$

$$(2\,a' + b') - (2\,a + b) = \frac{2}{25}\,S \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10).$$

Aufgabe. Die beiden äußern Dampfwege haben eine Breite von $1^1/_2''$ (= b), ihre inneren Ränder einen Abstand von s'' (= 2 a), der ganze Schieberweg soll 5'' (= 2 S) betragen, welche Dimensionen muß der Schieber seiner Länge nach haben, wenn der Dampfzufluß dreimal länger als die Absperrung dauern soll.

Auflösung. Die Absperrung des Dampfes dauert also jedesmal während einer Drehung der Treibaxe um 45°, es ist also $\alpha'' = 22^1/_2{}^0$, folglich $\frac{a' + b' - (a + b)}{r} = 0{,}383$. Ist die Schieberstange unmittelbar mit der Excentrikstange verbunden, so ist $r = S = 2{,}5$, es ist also, da $a + b = 1{,}5 + 2{,}5 = 4''$;

$$\frac{a' + b' - 4}{2{,}5} = 0{,}383, \text{ oder } a' + b' = 4{,}958.$$

Die dritte Gleichung in (10) giebt:

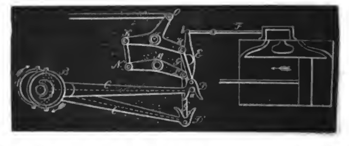
$$2\,a' + b' - 6{,}5 = \frac{2}{25}\,.\,2{,}5 \text{ oder } 2\,a' + b' = 6{,}7.$$ Hieraus folgt $a' = 1{,}742''$ und $b' = 3{,}216$.

Die innere Weite (2 a') des Dampfschiebers beträgt also 3,48 Zoll, und die Breite eines jeden Schieberfußes ist 3,22 Zoll. In der Mittellage ist also die Ueberdeckung der Oeffnungen der Dampfwege an der inneren Seite $= a - a' = 0{,}85$ Zoll, und nach der äußeren 0,96 Zoll. Die Stellung des

Excenters gegen den Kurbelradius der Treibaxe wird gefunden nach (7). Es ist $\alpha_1 = A \sin \frac{a' + b' - (a + b) + \sigma}{r} = A \sin \frac{4{,}958 - 4 + 0{,}05}{2{,}5} =$ $A \sin 0{,}403 = 23^0\ 46'$. Die Excentricitätslinie bildet demnach mit der Kurbel einen Winkel von $113^0\ 46'$.

Für unmittelbare Verbindung des Schiebers mit der Schieberstange ist $S = r$, d. i. gleich der Excentricität, im anderen Falle ist aber S kleiner als r. Durch Vorrichtungen, welche weiter unten beschrieben werden sollen, kann man den Schieberweg beliebig verkürzen, mit solcher Verkürzung ändern sich aber zugleich die Werthe für α' und α'', also auch das Verhältniß der Dampfabsperrung zur Dampfzulassung. Wird $S < s'$, so wird der Schieber sich zwar noch etwas hin und herbewegen, die Dampfwege aber gar nicht öffnen.

Umsteuerungssysteme. Gehen wir nun zu den Umsteuerungsvorrichtungen über, so haben wir die früher gewöhnlich angewandte, mittelst der Klauen oder Gabeln, schon oben beschrieben, so daß es nur nöthig ist, die näheren Verhältnisse derselben hier nachzuholen. In beistehender Figur bezeichnet A die Treibaxe, B und B' die beiden dicht neben einander befestigten Excentern, deren gegen-

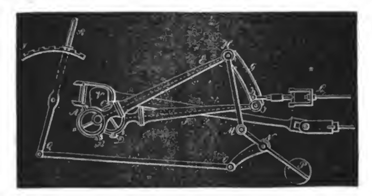


seitige Lage eine entgegengesetzte ist, so daß von den beiden Excenterstangen C und C' stets die eine nach vorn schiebt, wenn die andere nach hinten zieht; D und D' sind die beiden Klauen, die eine D hat den Knopf a des zweiarmigen Hebels E erfaßt, an dessen anderen Endpunkt b die Schieberstange F eingelenkt ist. Der Knopf oder die Warze a paßt genau in die Vertiefung jeder Klaue. Um nun nach Belieben den Knopf a von der einen oder der anderen Klaue erfassen zu lassen, ist die Klaue D durch die Stange G mit dem Hebel HJK, und die Klaue D' durch die Stange mit dem Hebel LMN verbunden, die beiden anderen Arme dieser Hebel communiciren mit einander durch das Gelenkstück KN. Der Hebel HJK hat noch einen dritten Arm JO, an welchen die Zugstange OP eingelenkt ist, welche ihrerseits bis zur Gallerie führt. Soll die Klaue D' anstatt der Klaue D den Knopf ergreifen, so muß in dem Augenblick, in welchem beide Klauen senkrecht über einander stehen, die Zugstange in der Richtung von O nach P angezogen werden, dadurch senken sich die linken Arme der beiden parallelen Hebel HJK und LMN, die linken heben sich und ziehen durch die Stange G und G' die Excenterstangen in die Höhe; die Klaue D läßt dann den Knopf a los, die Klaue D' ergreift ihn und führt ihn sogleich in der entgegengesetzten Rich-

tung weiter. Der Einfluß dieses Wechsels auf das Kolbenspiel ist schon oben erörtert. Unsere gegenwärtige Zeichnung unterscheidet sich von der in Fig. II. S. 586 gegebenen Andeutung der Umsteuerungsvorrichtung dadurch, daß dort die beiden Stangen, durch welche die Klauen gehoben und gesenkt werden sollen, an einem einzigen Hebel befestigt sind, so daß die eine kurz und die andere lang sein muß. Die Anwendung zweier gleichen und durch ein Gelenkstück K N verbundenen Hebel bietet den Vortheil, die Stange G und G' gleich lang und dadurch die Bewegung der Klauen übereinstimmend zu machen, der Eingriff der Klauen wird dann sicherer. Die Excenter selbst bestehen wie gewöhnlich aus je einer Excentrikscheibe, welche beide dicht neben einander auf der Treibaxe festgekeilt oder festgeschraubt sind, aus je einem Excentrikringe, der, um nicht verrückt zu werden, in eine Spur im Umfange der Scheibe eingreift, und aus je einer Excentrikstange, welche mit dem Ringe unbeweglich verbunden ist. Die Excentrikstangen sind 5 bis 7' lang, $^3/_4$ bis 1" dick, in der Nähe des Ringes 3 bis 4", am Ende 2" breit, die Schieber haben 10 bis 12" im Durchmesser und sind 2 bis 3" dick.

Da der Hebel E die Bewegung der Excentrikstange auf die Schieberstange im entgegengesetzten Sinne überträgt, so ist jetzt der Winkel, den die Excentricitätslinie mit der Kurbellage macht, nicht $90^0 + \alpha_1$, sondern $90^0 - \alpha_1$, wenn α_1 das Maß für das Voreilen des Schiebers angiebt, auch geht diese Linie der Kurbel nicht um diesen Winkel voraus, sondern sie folgt ihr. Das Voreilen des Schiebers bewirkt auch, daß die beiden zu einander gehörigen Excentriken nicht genau entgegengesetzte Lage haben, so daß die Excentricitätslinien einen Winkel von 180^0 mit einander bilden, sondern sie bilden nur einen Winkel von $180^0 - 2\alpha_1$, welcher Winkel in unserem Falle durch die Kurbellage halbirt wird.

Denken wir uns die Flügel der beiden Klauen paarweise, so wie sie einander gegenüberstehen, durch zwei gebogene Schienen verbunden, so erhalten wir



die Stephenson'sche Coulisse, welche neuerdings angewandt wird. Beistehende Figur giebt davon eine Vorstellung. C ist die Treibaxe, A B und C D die beiden Excentriken, E und F sind die beiden Excentrikstangen, ihre Endpunkte

sind durch den Rahmen G mit einander so verbunden, daß an den Verbindungsstellen H und J eine Drehung möglich bleibt, der Rahmen dient für das Querhaupt K der Schieberstange als Führung. Die Stange HM verbindet die eine Excentrikstange mit dem Winkelhebel MNO, der in einfacher, geeigneter Weise von dem Führer bewegt werden kann, wenn eine Umsteuerung eintreten soll. P ist ein Gegengewicht, welches dazu dient, den Steuerrahmen in seiner gewöhnlichen Lage festzuhalten. Der Rückhebel RQ steht in Verbindung mit einem gezahnten Kreisbogen, an welchem er durch einen Riegel in verschiedenen Stellungen fixirt werden kann.

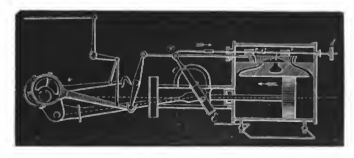
Die Stellung der einzelnen Maschinentheile in der Zeichnung entspricht dem regelmäßigen Gange der Locomotive, wenn wir nämlich die rechte Seite der Zeichnung als die vordere ansehen. Soll eine Umsteuerung eintreten, so muß der Rückhebel RQ angezogen werden, die Stange QO würde nach vorn schieben, der Arm NM sich senken, mit ihm würde auch der Steuerrahmen herabgehen und das Querhaupt K würde dann seinen Angriff in der Nähe von H haben, also der Bewegung der Excentrikstange E folgen. Das jetzt erhobene Gegengewicht P wird durch seinen Zug nach unten die Rückkehr zu regelmäßiger Steuerung erleichtern.

Der Vortheil, den diese Umsteuerungsvorrichtung gewährt, besteht nicht blos in der größeren Sicherheit, mit welcher der Wechsel vorgenommen werden kann, sondern besonders darin, daß man jeden Theil des Steuerrahmens zur Steuerung benutzen kann, wenn man den Rückhebel auf dem gezahnten Kreisbogen an der entsprechenden Stelle befestigt. Theilen die Endpunkte H und J des Rahmens die Bewegung der Excenterstangen E und F, so wird die entgegengesetzte Bewegung dieser Endpunkte in der Mitte des Rahmens fast ausgeglichen sein und von hier aus nach den Endpunkten hin zunehmen. Man kann somit durch die Coulisse dem Schieber eine beliebig kleinere Bewegung ertheilen, als die, welche ihm jede Excentrikstange für sich geben würde, und wir haben oben gesehen, daß mit der Verkürzung des Schieberweges eine Verkürzung in der Dauer des Dampfzuflusses eintritt. So bietet also die Stephenson'sche Coulisse zugleich ein einfaches Mittel für eine variable Dampfexpansion, so daß der Führer im Stande ist, die Expansionswirkung des Dampfes nach dem jedesmaligen Bedürfniß zu reguliren.

Da in der Einrichtung der Figur S. 615 die Schieberstange unmittelbar vom Rahmen bewegt wird, so folgt, daß die Excentricität Ca und Cb mit der Lage der Kurbel V stumpfe Winkel bilde von der Größe $90^0 + \alpha_1$, so wie daß jetzt die steuernde Excentricität der Kurbel vorhergeht.

Es ist oben davon die Rede gewesen, daß man durch eine entsprechende Gestaltung der Schieberfüße eine frühere Dampfabsperrung, d. i. eine Dampfexpansion erreichen kann, doch hat man sich zu diesem Zweck bei feststehenden Maschinen auch der sogenannten Expansionsschieber bedient, nämlich zweiter Schieber, die auf den gewöhnlichen Dampfschiebern liegen und den Dampfzufluß früher absperren, als diese es für sich thun würden. Auch auf Locomotivmaschinen ist diese Einrichtung übergegangen, wie die umstehende Figur zeigen kann. Der Dampfschieber A ist zweimal durchbohrt, und kann nur durch diese Canäle, die auf

seiner oberen Seite münden, den Dampf in die Dampfwege einlassen. Hier liegt nun auch der Expansionsschieber B, auf dessen Stange zwei Klötze a und b angebracht sind. Wegen der selbstständigen Bewegung des Expansionsschiebers können diese Klötze diejenige Durchbohrung des Schiebers, welche eben den Dampf durchläßt, früher bedecken, ehe sie selbst von der Mündung des Dampfweges fort-



rückt. Der Augenblick, in welchem es geschieht, hängt von der Größe und Lage der beiden Klötze ab. Die Bewegung des Expansionsschiebers ist hier mit der Bewegung des Kolbens verknüpft, da die Kolbenstange und die Schieberstange durch den um C drehbaren Hebel DE verbunden sind, so daß der Expansionsschieber die entgegengesetzte Bewegung macht. Bei der in der Zeichnung angedeuteten Stellung bewegt sich der Expansionsschieber nach vorn und ist im Begriff die Schieberdurchbohrung zu bedecken, durch welche noch der Dampf vor den Kolben gelangen kann. Um die Expansion variabel zu machen, hat die Spindel, da wo die beiden Klötze sitzen, ein rechtes und linkes Gewinde, am Ende aber außerhalb der Dampfkammer ein Schnecken- oder Stirnrad d, welches sich vom Stande des Führers aus stellen läßt. Die dadurch bewirkte Annäherung und Entfernung der beiden Klötze a und b läßt die Absperrung des Dampfes früher oder später eintreten.

Beifolgend lassen wir die bestimmten Dimensionen der Haupttheile einiger wirklich ausgeführten Locomotiven folgen.

Tabelle der Dimensionen der Haupttheile einiger Locomotiven *).

Bezeichnung der Maschinen	Namen der Erbauer	d Kolbendurchmesser	L Kolbenhub	D Durchmesser d. Treibr.	Zahl d. Räder	Roststäche	Entfernung des Rostes v. d. Röhren	Innerer Durchmesser der Röhren	Länge der Röhren	Zahl der Röhren	Heizfläche direct	Heizfläche indirect	Heizfläche total	Gewicht der arbeit. Masch.	Belastung d. Treibr.	Gewicht der laufenden Maschine und des Tenders
		m	m	m		Q.-M.	m	m	m		Q.-M.			Tonnen		
Denys Papin	Jackson	0,280	0,410	1,543	4	0,653	0,450	0,041	2,10	82	3,32	22,16	25,48	9,25	5,10	14,00
La Seine	Bury	0,280	0,415	1,546	4	0,659	0,475	0,052	2,36	76	3,07	30,00	33,07	9,00	5,00	14,00
Tayleur	Tayleur	0,297	0,406	1,677	6	0,620	0,420	0,041	2,43	107	3,72	33,48	37,20	12,00	5,40	8,00
Etna	Haigh-Foundry	0,290	0,406	1,670	6	0,740	0,380	0,041	2,45	121	4,13	38,24	42,37	14,00	6,30	20,00
Jean Bart	Hawthorn	0,305	0,460	1,520	4	0,639	0,500	0,041	2,50	104	3,75	33,48	37,23	11,00	6,00	17,00
Stephenson	Stephenson	0,305	0,460	1,680	6	1,087	0,510	0,054	2,56	80	4,62	34,73	39,35	13,50	6,10	19,00
Atlas	Sharp u. Roberts	0,318	0,460	1,520	6	0,767	0,480	0,041	2,57	117	4,41	38,44	42,85	13,50	6,10	20,00
Alsace	Stehelin u. Huber	0,316	0,460	1,830	6	0,854	0,450	0,048	2,67	104	4,29	41,92	46,21	14,00	6,30	19,00
Gauloise	Cavé	0,330	0,490	1,670	6	1,030	0,630	0,050	2,60	99	5,83	40,49	46,32	15,00	6,80	22,00
Bucéphale	Rothwell	0,330	0,432	1,670	6	0,870	0,460	0,050	2,62	111	4,56	46,65	51,21	15,00	6,80	22,00
Creusot	Gebr. Schneider	0,330	0,460	1,670	6	1,020	0,550	0,048	2,69	115	5,60	44,88	50,48	15,50	7,00	23,00
Alcide	Stehelin u. Huber	0,330	0,460	1,830	6	0,870	0,550	0,048	2,75	115	5,02	47,72	52,74	15,00	6,80	22,00
Vesta	Stephenson	0,330	0,450	1,680	6	1,039	0,480	0,054 / 0,030	2,54	103 / —8	5,69	46,75	52,44	15,00	6,80	22,00
Expedition	Gebr. Schneider	0,330	0,460	1,830	6	1,150	0,600	0,040	2,70	138	5,98	46,94	52,92	15,00	6,80	22,00
Versailles	Jackson	0,330	0,460	1,670	6	0,972	0,550	0,042	2,56	155	5,33	52,71	58,04	15,00	6,80	22,00
Vesuve	Sharp u. Roberts	0,330	0,480	1,680	6	1,102	0,550	0,040	2,55	162	5,83	52,00	57,83	15,00	6,80	22,00
A 1 6	Stephenson	0,304	0,405	1,520	4	0,860	0,430	0,041	2,40	65	5,30	20,27	25,57	11,00	6,00	17,00
Vesta	"	0,280	0,405	1,520	4	0,680	0,510	0,041	2,14	80	4,27	21,79	28,06	9,00	5,00	14,00
Nr. 130	"	0,316	0,405	1,520	6	0,770	0,500	0,041	2,44	111	4,34	36,46	40,80	13,00	5,90	18,00
Harvey Combe	"	0,304	0,456	1,520	6	0,930	0,500	0,041	2,21	102	4,71	31,57	36,28	13,50	6,10	18,00
Bury	Bury	0,304	0,456	1,670	4	0,760	0,480	0,054	2,44	86	3,65	35,17	38,82	9,00	5,00	15,00
North Star	Stephenson	0,400	0,405	2,128	6	0,030	0,500	0,041	2,59	167	6,52	60,85	67,37	19,00	8,55	27,00
Cetus	Tayleur	0,358	0,405	2,432	6	"	"	"	"	"	4,68	49,69	54,37	15,50	8,30	26,00
Venus	"	0,305	0,405	2,432	6	"	"	"	"	"	4,19	42,92	47,11	18,00	8,10	25,00

*) Aus dem Guide du mécanicien-conducteur de machines locomotives, p. Flachat et Petiet.

III. Theorie der Locomotivbewegung.

A. Theorie der Dampfwirkung nach Pambour.

Die Theorie der Dampfwirkung gründet sich auf die Vorstellung, daß für den Gleichgewichtszustand der Dampfmaschine die Arbeit der Dampfwirkung während eines Kolbenhubes gleich der gleichzeitigen Arbeit der gegen den Kolben gerichteten Widerstände sein müsse, und zweitens; daß die im Cylinder verbrauchte Dampfmenge gleich der gleichzeitig im Kessel erzeugten sei.

Es bezeichne F den Querschnitt des Kolbens, L seine Hubhöhe, l seinen Weg bei offener Communikation mit dem Kessel, a die Höhe des freien Cylinderraumes, der am Ende jedes Hubes zwischen dem Kolben und der Stirnwand des Cylinders bleibt; P sei der Druck des Dampfes auf die Flächeneinheit im Kessel, P' der Dampfdruck auf die Flächeneinheit des Kolbens bei freiem Zutritt des Dampfes und p sei dieser Druck nach der Absperrung, wenn der Kolben den Weg $x > l$ zurückgelegt hat, M sei das Volumen des in der Zeiteinheit in wirksamen Dampf verwandelten Wassers, Q der Gegendruck gegen den Kolben, und m bezeichne das relative Volumen des Dampfes vom Druck P', v die mittlere Geschwindigkeit des Kolbens.

Die in der Zeiteinheit erzeugte Menge Dampf von der Spannung P' beträgt m M, jeder Cylinder verbraucht während eines Hubes die Dampfmenge $F(l + a)$ von der Spannung P', die Dauer eines Kolbenhubes ist $\frac{L}{v}$, folglich die in der Zeiteinheit von beiden Cylindern aufgenommene Dampfmenge $\frac{F(l + a)v}{L}$, hieraus folgt:

$$mM = \frac{F(l + a)v}{L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Die Arbeit des Dampfes, während der Cylinder in offener Verbindung mit dem Kessel ist, beträgt $FP'l$, denn der Druck gegen den Kolben ist FP', der Weg l; hat der Kolben den Weg x zurückgelegt, so ist die Dampfspannung noch p, also die Arbeit während des unendlich kleinen Weges dx ist $F p dx$, folglich die Arbeit während der Absperrung überhaupt $F \int_l^L p\,dx$. Die Gesammtarbeit des Dampfes ist also $FP'l + F\int_l^L p\,dx$, dagegen ist die Gesammtarbeit des Widerstandes Q gleich FQL. Es ist also, wenn wir mit F abkürzen:

$$P'l + \int_l^L p\,dx = QL \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Wenn sich der abgesperrte Dampf ausdehnt, so nimmt seine Spannung ab, aber die Abnahme erfolgt nicht nach dem Mariottischen Gesetze, so daß Dampfsperrung und Volumen im umgekehrten Verhältniß ständen. Der Dampf verliert bei seiner Ausdehnung an freier Wärme, bleibt aber nach den Versuchen von

Pambour stets im Zustande der Sättigung, also im Maximum der seiner Temperatur entsprechenden Spannung. Für nicht zu große Temperaturdifferenzen, also auch für nicht zu große Spannungsdifferenzen kann man die Relation zwischen der Dampfspannung p und dem relativen Dampfvolumen V ausdrücken durch die Gleichung:

$$V = \frac{1}{\alpha + \beta P} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

α und β haben bestimmte Werthe, die jedoch für niedere Dampfspannungen andere sind, als für hohe. Ist p ausgedrückt in Pfunden bezogen auf den preußischen Quadratzoll, so ist

für Dampf von niedrigem Druck $\alpha = 0{,}00006$, und $\beta = 0{,}0000342$ und
für Dampf von hohem Druck $\alpha = 0{,}000142$ und $\beta = 0{,}0000322$.

Die letzteren Werthe werden wir bei der nachfolgenden Berechnung zum Grunde legen müssen.

Der Dampf im Cylinder hat im Momente der Absperrung das Volumen $F(a + l)$ und die Spannung P', später, wenn der Kolben den Weg x zurückgelegt hat, hat er das Volumen $F(a + x)$ und die Spannung p; hieraus folgt

$$\frac{a + l}{a + x} = \frac{\alpha + \beta p}{\alpha + \beta P'} \text{ und hieraus}$$

$$p = \frac{(a + l)(\alpha + \beta P')}{(a + x)\quad \beta} - \frac{\alpha}{\beta} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

Jetzt ist:

$$\int_l^L p\,dx = \frac{(a + l)(\alpha + \beta P')}{\beta} \int_l^L \frac{dx}{a + x} - \frac{\alpha}{\beta} \int_l^L dx =$$

$$\frac{(a + l)(\alpha + \beta P')}{\beta} \log \text{nat} \frac{L + a}{l + a} - \frac{\alpha}{\beta}(L - l).$$

Hiernach geht die Gleichung (2) über in folgende:

$$Q L = P' l + (a + l)\left(\frac{\alpha}{\beta} + P'\right) \log \text{nat} \frac{L + a}{l + a} - \frac{\alpha}{\beta}(L - l) \text{ oder}$$

$$Q L = (a + l)\left(\frac{\alpha}{\beta} + P'\right)\left[\frac{l}{l + a} + \log \text{nat} \frac{L + a}{l + a}\right] - \frac{\alpha}{\beta} L \; \ldots . (5).$$

Der Coefficient m in Gl. (1) giebt das relative Dampfvolumen für die Spannung P' an, es ist also

$$m = \frac{1}{\alpha + \beta P'}; \text{ es folgt mithin aus (1)}$$

$$\frac{M}{\alpha + \beta P'} = \frac{F(l + a)\,v}{L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6).$$

Eliminirt man aus (5) und (6) den Ausdruck $\alpha + \beta P'$, so folgt, wenn wir noch mit L kürzen,

$$Q = \frac{M}{F v \beta}\left[\frac{l}{l + a} + \log \text{nat} \frac{L + a}{l + a}\right] - \frac{\alpha}{\beta}, \text{ oder:}$$

$$v = \frac{M}{F(\alpha + \beta Q)}\left[\frac{l}{l+a} + \log nat\,\frac{L+a}{l+a}\right] \quad \ldots . \; (7).$$

Diese Gleichung zeigt, daß die Geschwindigkeit des Dampfkolbens abhängig ist von der Menge M des in der Secunde verdampften Wassers, von dem Querschnitt F der Kolbenfläche, von dem zu überwindenden Widerstande Q und von dem Verhältniß $\frac{l}{L}$ der Absperrung, aber unabhängig bleibt sie von der Spannung P des Dampfes im Kessel.

Der Widerstand Q gegen die Einheit der Kolbenfläche wird gebildet aus der Kraft zur Bewegung des Wagenzuges q, aus der zur Bewegung der Locomotive b, aus der Kraft zur Ueberwindung des Luftwiderstandes, welche proportional mit dem Quadrate der Geschwindigkeit v ist und durch γv^2 bezeichnet werden kann. Die Summe $q + b + \gamma v^2$ ist ein Maß für die von der Locomotive zu überwindende Last. Ferner gehört zu dem Widerstande Q das Hinderniß der Reibung, der Druck der atmosphärischen Luft, das Hinderniß des Blaserohrs und das der Wasserpumpe. Die Reibung besteht aus der Reibung f der leergehenden Maschine und der sogenannten additionellen Reibung, d. i. einem Bruchtheile μ der eigentlichen Maschinenlast, wir können also die Gesammtreibung ausdrücken durch $f + \mu (q + b + \gamma v^2)$; den Gegendruck der Atmosphäre bezeichnen wir mit a, die Wirkung des Blaserohrs ist nach Pambour's Versuchen mit v proportional und sei δv, den Widerstand der Wasserpumpe wollen wir mit k bezeichnen. Hiernach ist nun:

$$Q = (1 + \mu)(q + b + \gamma v^2) + f + a + k + \delta v \quad \ldots . \; (8).$$

Setzen wir nun der Kürze wegen

$$\frac{l}{l+a} + \log nat\,\frac{L+a}{l+a} = z \quad \ldots . \; (9),$$ so folgt aus (7)

$$v = \frac{Mz}{F} \cdot \frac{1}{\alpha + \beta[(1+\mu)(q + b + \gamma v^2) + f + a + k + \delta v]} \quad \ldots . \; (10).$$

Hieraus ergiebt sich:

$$Fq = \frac{Mz}{\beta(1+\mu)v} - \frac{F}{1+\mu}\left(\frac{\alpha}{\beta} + f + a + k + \delta v\right) - F(b + \gamma v^2) \ldots . (11)$$

$$M = \frac{Fv[\alpha + \beta(1+\mu)(q + b + \gamma v^2) + \beta(f + a + k + \delta v)]}{z} \quad \ldots . \; (12)$$

$$E = Fqv = \frac{Mz}{\beta(1+\mu)} - \frac{Fv}{1+\mu}\left(\frac{\alpha}{\beta} + f + a + k + \delta v\right) - Fv(b + \gamma v^2) \ldots . (13)$$

In der letzten Formel bezeichnet E den Nutzeffect.

Die Gleichung (13) zeigt, daß der Effect am größten ist, wenn v am kleinsten ist, und aus (11) folgt, daß für diesen Fall die Kraft q für die Fortbewegung des Zuges im Maximum ist. Aus (6) folgt:

$$v = \frac{ML}{F(l + a)(\alpha + \beta P')}$$

Diese Formel zeigt, daß v dann am kleinsten ist (bei einer gegebenen Absperrung l), wenn P' am größten ist, P' kann aber nicht größer werden als P, setzen wir P' = P, so geht v in sein relatives Minimum v' über, und es ist:

$$v' = \frac{M L}{F(l + a)(\alpha + \beta P)} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (14).$$

Ist q' der dem Minimum entsprechende Werth von q, so folgt:

$$q' = \frac{(\mu + \beta P)(l + a) z}{\beta (v + \mu) L} - \frac{1}{1+\mu}\left(\frac{\alpha}{\beta} + f + s + k + \delta v'\right) - (b + \gamma v'^2) \ldots . (15).$$

In der Regel wird bei der Locomotivsteuerung keine Dampferpansion angewandt, es ist alsdann nahe $l = L$ und $z = \frac{L}{L + a}$.

Alsdann ist:

$$v = \frac{M L}{F(L + a)} \cdot \frac{1}{\alpha + \beta[(1+\mu)(q + b + \gamma v^2) + f + s + k + \delta v]} \ldots . (16) \text{ und}$$

$$Fq = \frac{M L}{\beta(1+\mu) v (L + a)} - \frac{F}{1+\mu}\left(\frac{\alpha}{\beta} + f + s + k + \delta v\right) - F(b + \gamma v^2) \ldots . (17).$$

$$v' = \frac{M L}{F(L + a)(\alpha + \beta P)} \quad . \; . \; . \; . \quad (18)$$

$$q' = \frac{1}{1+\mu}(P - f - s - k - \delta v') - (b + \gamma v'^2) \; . \; . \; . \; . \; (19).$$

Bezeichnet D den Durchmesser der Treibräder und V die Geschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung des Zuges, so ist der Weg, der bei einer Umdrehung der Treibräder zurückgelegt wird, $D\pi$, die dazu verwandte Zeit $\frac{D\pi}{V}$; da nun die Zeit für einen Kolbenhub $\frac{L}{v}$ halb so groß sein muß, so folgt:

$$\frac{D\pi}{V} = \frac{2L}{v} \text{ oder}$$

$$V = \frac{D\pi}{2L} v \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (20).$$

Die Kraft q zur Bewegung des Wagenzuges ist auf horizontaler Bahn die Kraft zur Ueberwindung der Zapfenreibung bei sämmtlichen Wagenrädern und der rollenden Reibung der Räder auf den Schienen. Für Eisenbahnwagen ist die Zapfenreibung überwiegend im Vergleich mit der rollenden Reibung, beide aber sind dem Drucke proportional und ihre Größe kann einem bestimmten Bruchtheile ν des gesammten Wagenzuges gleich gesetzt werden. Nach **Pambour** genügt zur Fortbewegung eines Eisenbahnwagens eine Zugkraft von 6 Pfund auf die Tonne (2240 Pfd.), deshalb hätte hiernach ν einen Werth $\frac{6}{2240} = \frac{1}{373}$; der Sicherheit wegen nimmt man aber diesen Werth oft größer, und setzt dann

$\nu = \frac{1}{250}$. Bewegt sich der Zug auf einer schiefen Ebene aufwärts, so genügt es nicht, nur die Reibung zu überwinden, es muß das Gewicht des Wagens selbst gehoben werden und die dazu nöthige Kraft ist $G \sin \alpha$, wenn G das Gewicht des Wagenzuges und α den Neigungswinkel der Bahn bezeichnet, da α stets nur sehr klein ist, so kann man $\sin \alpha = \frac{1}{n}$ setzen, wenn dieser Bruch das Steigungsverhältniß der Bahn angiebt, diese also bei n Fuß Horizontallänge um 1 Fuß steigt. Senkt sich die Bahn abwärts, so kommt die Kraft $G \sin \alpha = \frac{1}{n} G$ der Zugkraft zu Hülfe, da in Folge der Schwere der Wagenzug sich selbst zu bewegen strebt. Zur Fortbewegung des Zuges dient also die Kraft $\left(\nu \pm \frac{1}{n}\right) G$, wo das obere Zeichen bei steigender, das untere bei fallender Bahn in Geltung tritt. Diese Kraft, nachdem sie auf die Einheit der Kolbenfläche reducirt war, hatten wir mit q bezeichnet, für die ganze Kolbenfläche $F = 2 \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{d^2 \pi}{2}$, wenn d den Durchmesser eines Kolbens bezeichnet, ist die Kraft $\frac{d^2 \pi}{2} . q$, und ihre Arbeit während eines doppelten Kolbenhubes oder einer Treibradumdrehung ist $\frac{d^2 \pi}{2} q . 2 L = L q d^2 \pi$. Obige Kraft $\left(\nu \pm \frac{1}{n}\right) G$ legt in derselben Zeit den Weg $D \pi$ zurück, ihre Arbeit ist $\left(\nu \pm \frac{1}{n}\right) G . D \pi$, und da beide Ausdrücke einander gleich sein müssen, so folgt:

$$q = \frac{\left(\nu \pm \frac{1}{n}\right) G D}{L d^2} \quad . \; . \; . \; . \quad (21).$$

Bezeichnet G' das Gewicht der Locomotive mit dem Tender, so folgt für die Kraft b der Werth in derselben Weise:

$$b = \frac{\left(\nu \pm \frac{1}{n}\right) G' D}{L d^2} \quad . \; . \; . \; . \quad (22).$$

Nach Pambour's Versuchen beträgt der Widerstand der Luft gegen einen Wagenzug von mittlerer Oberfläche bei 10 engl. Meilen Geschwindigkeit in der Stunde 33 Pfd. 10 Meilen in der Stunde sind $14^2/_3$' in der Secunde, und da der Luftwiderstand im quadratischen Verhältniß mit der Geschwindigkeit wächst, so beträgt er für 1' Geschwindigkeit $\frac{33}{(14^2/_3)^2} = 0,153$ Pfd. Bei V' Geschwindigkeit ist dieser Widerstand $0,153 \, V^2$ und da man für jeden angehängten Wagen noch $^1/_3$ dieses Werthes hinzuzufügen pflegt, so beträgt er bei einer Anzahl von

w Wagen: $\left(1 + \frac{w}{8}\right) . 0{,}153\ V^2$. Reduciren wir auch diesen Widerstand auf die Einheit der Kolbenfläche, so folgt:

$$\gamma v^2 = \left(1 + \frac{w}{8}\right) . \frac{0{,}153\ V^2 . D}{L\ d^2} = \frac{\varepsilon V^2 D}{L\ d^2} \quad . . . . (23),$$

wobei wir

$$\varepsilon = 0{,}153 \left(1 + \frac{w}{8}\right) \quad . . . . (24) \text{ setzen wollen.}$$

In den Formeln 21 — 24 muß d in Zollen genommen werden.

Den Widerstand der Reibung der leergehenden Maschine findet Pambour zu 1,25 Pfd. für den engl. Quadratzoll, welche Werthe wir auch für preuß. Maß und Gewicht festhalten wollen, da diese sich von den engl. wenig unterscheiden. Für die additionelle Reibung giebt Pambour an $\mu = 0{,}137$ für Maschinen mit ungekuppelten und $\mu = 0{,}215$ für Maschinen mit gekuppelten Rädern. Gewöhnlich nimmt man an, daß in der additionellen Reibung bereits der Widerstand, den die Wasserpumpe bildet, mit einbegriffen sei, und läßt dann k aus den Gleichungen fort. Uebrigens wird k abhängen von M und von P, von der Wassermenge, die in der Zeiteinheit verdampft, und von der Spannung der Dämpfe im Kessel. Nehmen wir an, das Wasser würde stetig dem Kessel zugeführt, und der in den Kessel eintretende Strahl habe einen Querschnitt F', so findet derselbe einen Widerstand = 144 F'P. Da nun die in der Zeiteinheit dem Kessel zugeführte Wassermenge $\frac{4}{3}$ M beträgt, da von dem verbrauchten Wasser nur 75° in Dampf übergehen, so hat obiger Wasserstrahl eine Länge $= \frac{4\ M}{3\ F'}$, die Arbeit zu seiner Einführung in den Kessel beträgt also: $\frac{4\ M}{3\ F'} . 144\ F'P = 192\ PM$. Da hierdurch auf die Kolbenfläche $2 . \frac{d^2 \pi}{4}$ ein Druck k hervorgebracht werden soll, so folgt:

$$192\ PM = \frac{d^2 \pi}{2} . vk \text{ oder}$$

$$k = \frac{384\ PM}{\pi\ d^2 v} = 122 \frac{PM}{d^2 v} = 192 \frac{PMD}{L\ d^2 v} \quad . . . . (25).$$

Auch hier ist d in Zollen zu nehmen.

Da das Wasser aber nicht gleichmäßig in den Kessel gepumpt wird, so kann zuweilen dieser Widerstand ganz wegfallen, oft aber bis auf das Dreifache des angegebenen Werthes steigen, für diesen Fall können wir $k = 576 \frac{PMD}{L\ d^2 v}$ setzen.

Ferner bezeichnet s den Atmosphären-Druck, also ist

$$s = 15 \text{ Pfund} \quad . . . . (26).$$

Der Gegendruck von Seite des Blaserohrs gegen den Quadratzoll der Kolbenfläche ist abhängig von der Menge M des verdampften Wassers, dem Quer-

schnitt a der Blasrohröffnung und der Kolbengeschwindigkeit v. Pambour's Versuche geben dafür das Resultat:

$$\delta v = 27 \frac{M}{a} v = 17 \frac{L M}{D a} V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (27).$$

Hierbei ist a in Quadratzollen, v in Fußen zu nehmen.

Was nun die Verdampfungsfähigkeit des Kessels betrifft, so haben wieder Pambour's Versuche ergeben, daß im Durchschnitt auf 1 □' der Heizfläche (der Gesammtfläche, nicht der reducirten) bei einer Geschwindigkeit von 20 engl. Meilen in der Stunde 0,2 Cubikfuß Wasser verdampft werden, bei einer größeren Geschwindigkeit von n Meilen, beträgt dieses Quantum $0{,}2 \sqrt[4]{\frac{n}{20}}$ Cubikfuß. Bezeichnen wir nun mit V die Geschwindigkeit der Locomotive in Fußen, so nimmt der letzte Werth etwa die Gestalt $0{,}2 \sqrt[4]{\frac{V}{30}}$ an, und bezeichnet nun H die gesammte Heizfläche des Kessels, so wäre:

$$H = \frac{60 \,.\, 60 \,.\, M}{0{,}2 \sqrt[4]{\frac{V}{30}}} = 18000 \, M \sqrt[4]{\frac{30}{V}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28).$$

Hierbei ist angenommen, daß die directe Feuerfläche sich zur indirecten wie 1 : 10 verhält.

Um die Anwendung vorstehender Formeln zu zeigen, wollen wir die Berechnung einiger Aufgaben folgen lassen.

1. Aufgabe. Es soll von der Locomotive Atlas von Sharp und Roberts, deren Dimensionen in der oben mitgetheilten Tabelle gegeben sind, berechnet werden, welches die größte Last ist, die sie auf horizontaler Bahn fortziehen kann, und welche Geschwindigkeit sie dieser Last zu ertheilen vermag, wenn der Dampf im Kessel bis auf 7 Atmosphären angespannt wird.

Auflösung. Die gesammte Heizfläche des Kessels beträgt 42,85 Quadratmeter = 435 Quadratfuß, hieraus folgt nach (28) die Menge des in der Secunde verdampfbaren Wassers $M = \frac{H}{18000} = 0{,}0242$ Cubikfuß, in der Minute also 1,446 Cubikfuß oder 95,436 Pfund. Die kleinste Geschwindigkeit v' des Kolbens bei vollem Dampfverbrauch und ohne Anwendung der Expansion, ergiebt sich aus Gl. (18) $v' = \frac{M L}{F (L + a)(\alpha + \beta P)}$. M ist = 0,0242, wie oben berechnet; L ist = $0{,}460^{m}$ = 1,466'; a der lineare freie Raum im Cylinder zwischen dem Kolben und der Stirnwand des Cylinders, wenn der Kolben am Ende seiner Bahn ist, ist in der Regel = $\frac{1}{20}$L, also ist $\frac{L}{L + a} = \frac{20}{21}$. Ferner ist $F = \frac{1}{2} d^2 \pi = 1{,}612$ Quadratfuß, denn d ist gleich $0{,}318^{m}$ oder

1,013'. Ferner ist, wie oben angegeben, $\alpha = 0,000142$ und $P = 7 . 15 = 105$. Es ist nun $\alpha + \beta P = 0,003523$ und $v = \frac{0,0242 . 20}{1,612 . 21 . 0,003523} = 4,06$.

Die Geschwindigkeit V der Locomotive bestimmt sich nun nach (20), da $D = 1,52^m = 4,843'$ zu: $V = \frac{D . \pi v}{2 L} = 21,1'$. Mit dieser Geschwindigkeit wird die Locomotive immer noch eine deutsche Meile in 19 Minuten zurücklegen.

Um für diese kleinste Geschwindigkeit das Gewicht des fortzuschaffenden Zuges zu finden, suche man zunächst q' aus (19) zu finden. Es ist

$$q' = \frac{1}{1 + \mu}(P - f - s - k - \delta v') - (b + \gamma v^2).$$

Es ist μ für nicht gekuppelte Räder gleich 0,137; $P = 105$; $f = 1,25$ Pfd.; $s = 15$ Pfd.; k folgt aus (25)

$$922 . \frac{PM}{d^2 . v} = \frac{122 . 105 . 0,0242}{144 . 1,026 . 4,06} = 0,518 \text{ Pfd.}$$

Setzen wir die Blasrohröffnung gleich 4 Quadratzoll, so folgt nach (27)

$$\delta v = 27 . \frac{0,0242 . 4,06}{4} = 0,658 \text{ Pfd.}$$

Nehmen wir ferner an, die Last wäre auf 16 Wagen vertheilt, so folgt aus (23) und (24)

$$\varepsilon = 0,46 \text{ und } \gamma v^2 = 0,46 . \frac{V^2 D}{L d^2} = 4,54.$$ Den Werth für b finden wir aus (22).

Das Gesammtgewicht der Locomotive mit dem Tender beträgt $G' = 33,5$ Tonnen, bei horizontaler Bahn ist $\frac{1}{n} = o$, setzen wir $v = \frac{1}{370}$, so folgt, da d in Zollen ausgedrückt werden muß:

$$b = \frac{33,5 . 2240 . 4,843}{370 . 1,466 . 1,026 . 144} = 4,54 \text{ Pfund.}$$ Es ist also in unserem Falle der Widerstand der Luft eben so groß, als die zur Fortbewegung der Locomotive nöthige Kraft. Aus diesen Zahlenwerthen ergiebt sich nun:

$$q' = \frac{1}{1,137}(105 - 1,25 - 15 - 0,518 - 0,658) - (4,54 + 4,54)$$
$$= 77 \text{ Pfd.} - 9,08 = 67,92.$$

Das Gewicht des Wagenzuges, der fortgeschafft werden kann, beträgt daher nach (21)

$$G = \frac{L d^2 q'}{v D} = \frac{1,466 . 1,026 . 144 . 67,92 . 370}{4,843} = 1123800 \text{ Pfd.}$$ oder 501,7 Tonnen.

Wollten wir den Nutzeffect der Locomotive in dem angenommenen Falle bestimmen, so ist derselbe $= F q' v'$. Die Kolbenfläche beider Kolben ist

$\frac{1}{2} d^2 \pi = 232$ Quadratzoll. Also $E' = 232 . 67{,}92 . 4{,}06 = 63970$ Fußpfund oder 125,4 Pferdekräfte.

Es zeigt sich aber bald, daß die Locomotive diesen Nutzeffect deshalb nicht wird leisten können, weil die Adhärenz der Treibräder nicht hinreichend groß sein wird, um die Last von 501,7 Tonnen von der Stelle zu schaffen. Die Treibräder sind nämlich mit 6,1 Tonnen belastet, und nehmen wir den sehr günstigen Fall an, daß die Schienen trocken und bestäubt sind, so können wir die Adhärenz der Räder höchstens gleich $\frac{1}{5}$ der Belastung, d. i. gleich 1,22 Tonnen setzen. So groß könnte die Zugkraft höchstens werden, und dann würde sie einer Last von $370 \times 1{,}22 = 451{,}4$ Tonnen entsprechen.

Aus dieser Betrachtung ergiebt sich nun, daß es selbst bei der günstigsten Witterung nicht nöthig ist, den Dampf im Kessel unserer Locomotive bis zu 7 Atmosphären anzuspannen, sie erlangt das Maximum ihrer Zugkraft schon bei einer geringeren Spannung, welche um so kleiner sein kann, als durch ungünstiges Wetter die Adhärenz auf den Schienen herabgedrückt wird.

2. Aufgabe. Welche Last kann die in voriger Aufgabe angenommene Locomotive mit 30′ Geschwindigkeit auf einer geneigten Eisenbahn aufwärts ziehen, wenn das Steigungsverhältniß derselben 1 : 100 ist?

Auflösung. Wir berechnen nach (17) den Werth von q. Es ist:

$$q = \frac{M L}{\beta(1+\mu) v (L+a) F} - \frac{1}{1+\mu}\left(\frac{\alpha}{\beta} + f + s + k + \delta v\right) - (b + \gamma v^2).$$

Außer v nehmen noch k, δv, b und γv^2 in dieser Aufgabe neue Werthe an.

Nehmen wir die Dampfspannung im Kessel etwa zu 6 Atmosphären an, so folgt (25):

$k = 192 \frac{P . M D}{L d^2 V} = 0{,}312$ Pfd. Ist wieder die Weite des Blaserohrs 4 Quadratzoll, so ist nach (27)

$\delta v = 17 \frac{L M}{D a} V = 0{,}934$ Pfd. Aus (22) erhalten wir $\frac{1}{n} = \frac{1}{100}$,

also $v + \frac{1}{n} = \frac{47}{3700}$ ist:

$b = \frac{\left(v + \frac{1}{n}\right) G' D}{L d^2} = 21{,}34$ Pfd. Nehmen wir jetzt die Anzahl der Wagen nur zu 8 an, so ist nach (23), da jetzt: $w = 8$ ist:

$\gamma v^2 = \frac{0{,}306 \ V^2 D}{L d^2} = 6{,}16$ Pfd. Ferner ist $F = \frac{1}{2} d^2 \pi = 1{,}61$ Quadratfuß und $v = \frac{2 L V}{D \pi} = 5{,}78$.

Mit diesen Werthen ergiebt sich:

$$\frac{M\,L}{\beta(1+\mu)\,v\,(L+a)\,F} = \frac{0{,}0242\,.\,20}{0{,}0000322\,.\,1{,}137\,.\,5{,}78\,.\,21\,.\,1{,}61} = 67{,}55 \text{ Pfd.}$$

$$\frac{1}{1+\mu}\left(\frac{\alpha}{\beta} + f + s + k + \delta v\right) = 19{,}27 \text{ Pfund.}$$

$b + \gamma v^2 = 27{,}5$ Pfund. Also ist:

$$q = 67{,}55 - 19{,}27 - 27{,}5 = 20{,}78 \text{ Pfund.}$$

Hieraus folgt dann nach (21) die Wagenlast

$$G = \frac{L\,d^2\,q}{\left(v + \frac{1}{n}\right)D} = 73050 \text{ Pfund oder } 32{,}6 \text{ Tonnen.}$$

Die Locomotive vermag also, kaum noch ihr eigenes Gewicht als Wagenlast fortzuschaffen.

Der Nutzeffect beträgt: $E = F\,q\,v = 27870$ Fußpfund oder 54,6 Pferdekraft.

Die größere Geschwindigkeit und die Steigung der Bahn hat also den Nutzeffect der Maschine um 56,5 Procent vermindert.

Einfluß der Bahnkrümmung. Ein nicht geringes Hinderniß für die Fortbewegung eines Wagenzuges bieten Bahnkrümmungen dar. Die Centrifugalität drängt zunächst den ganzen Zug nach der äußeren Seite der Krümmung hin. Art. Eisenbahn Bd. II. S. 656. Liegen beide Schienen in derselben Horizontalebene, so werden die Spurkränze der äußeren Räder gegen diese Schienen gedrückt werden, und es wird zwischen ihnen und den Schienen eine bedeutende Reibung entstehen. Dieses Hinderniß wird aber vermieden, wenn man den äußeren Schienenstrang etwas höher legt als den inneren und zwar um so viel, daß die Mittelkraft zwischen der Centrifugalität und der Schwerkraft der Wagen senkrecht auf der durch beide Schienen bestimmten Ebene steht. Eine einfache Rechnung ergiebt, daß diese Hebung der äußeren Schienen $\frac{S\,V^2}{R\,g}$ beträgt, wenn S die Spurweite, V die Geschwindigkeit der Wagen, R den Radius der Krümmung und g die bekannte Beschleunigung der Schwerkraft bezeichnet. Andere Hindernisse rühren daher, daß die Ränder der Spurkränze die Schienenränder streifen und die Wagenräder stets genöthigt werden, in der Richtung des Krümmungsradius eine kleine ausgleitende Bewegung zu machen. Jenes Hinderniß läßt sich dadurch vermindern, daß man die Spurweite etwas vergrößert, dieses ist selbst nicht bedeutend, so daß wir seinen mathematischen Ausdruck nicht in die Formel aufnehmen wollen. Bedeutender nämlich ist derjenige Widerstand, der aus der Ungleichheit der Wege herrührt, welche von den äußeren und den inneren Wagenrädern zurückgelegt werden. Jene haben einen längeren Weg zu durchlaufen, da aber jedes Räderpaar unbeweglich an derselben Are sitzt, so muß ein theilweises Gleiten oder Schleifen der Räder auf den Schienen eintreten, das, abgesehen von dem Torsionsbestreben gegen die Are hin, die fortschreitende Bewegung hindert. Es ist oben schon angeführt, daß für mäßige Krümmungen diesem Uebelstande durch die Conicität der Radreifen abgeholfen werden kann, bei stärkeren Krümmungen bleibt aber immer noch ein nachtheiliger Ueberschuß.

Bezeichnet R den Radius der Krümmung, S die Spurweite, so verhält sich der mittlere Weg des Wagens zu den Wegen der Räder auf der äußeren und

inneren Schiene wie $R : R \pm \frac{1}{2} S$, daraus folgt, daß der Weg auf der äußeren Schiene um das $\frac{S}{2R}$ fache länger, der auf der inneren Schiene um dieselbe Größe kürzer ist als der mittlere Weg. Bei einer Umdrehung der Treibräder, bei einer fortschreitenden Bewegung um $D\pi$ wird jedes Rad eine gleitende Bewegung um $\frac{DS\pi}{2R}$ gemacht haben. Es bleibt aber auch möglich, daß die gleitende Bewegung sich nur bei einem Rade, dem äußeren oder dem inneren, zeigt und bei dem anderen nicht, welches dann nur eine rollende Bewegung hat, dann aber muß der Weg des Gleitens doppelt so groß sein. Durch die Conicität der Radreifen wird nun dieses Gleiten um etwas vermindert. Bezeichnet k das Verhältniß dieser Conicität, so daß bei 1 Zoll Breite des Reifes der Radius um k Zoll kleiner wird, und bezeichnet c den Spielraum der Wagen zwischen den Gleisen, so können dieselben beim Eintritt in die Curve um $\frac{c}{2}$ zur Seite rücken, die Radien werden dann um $\frac{kc}{2}$ bei den äußeren Rädern größer und bei den inneren kleiner; auf die Peripherien übertragen macht dieser Unterschied $kc\pi$ aus. Um diese Größe wird sich nun der oben angegebene Weg des Gleitens vermindern, so daß für beide Arten der Räder dieser Weg

$$\pi \left(\frac{DS}{2R} - kc\right)$$

beträgt. Das Gewicht des ganzen Zuges ist G, die gleitende Reibung desselben auf den Schienen also $\mu' G$, und die Arbeit der in Rede stehenden Reibung also

$$\pi \left(\frac{DS}{2R} - kc\right) \mu' G$$

Reduciren wir diese Arbeit auf den gleichzeitigen Weg des Kolbens, so erhalten wir einen Druck gegen den Kolben, der für die Flächeneinheit beträgt:

$$\mu' \left(\frac{DS}{2R} - kc\right) \frac{G}{Ld^2}.$$

Um diese Größe muß der Werth q in Gleichung (21) noch vermehrt werden, wenn der Einfluß der Bahnkrümmung berücksichtigt werden soll. Alsdann ist:

$$q = \left[\left(v + \frac{\mu' S}{2R} \pm \frac{1}{n}\right) D - \mu' k c\right] \frac{G}{Ld^2} \quad \ldots . \; (29).$$

Und eben so folgt aus (22)

$$b = \left[\left(v + \frac{\mu' S}{2R} \pm \frac{1}{n}\right) D - \mu' k c\right] \frac{G'}{Ld^2} \quad \ldots . \; (30).$$

μ' ist gleich $\frac{1}{6}$, $S = 4' \, 8\frac{1}{2}''$ engl., oder etwa $4' \, 7'$ preuß., $k = \frac{1}{20}$, c ist für gerade Bahnstrecken $\frac{3}{4}''$, für Krümmungen etwas größer, etwa $1''$.

3. Aufgabe. Welche Dimensionen sind den Haupttheilen einer Locomotive zu geben, die eine Ladung von wenigstens 2500 Ctr. mit einer Geschwindigkeit von $1^1/_2$ deutschen Meile in der Stunde auf Steigungen von $2^1/_2$ % und in Krümmungen von 600′ fortzuschaffen vermögend sein soll. Keins der Räder soll um mehr als 120 Ctr. belastet sein. (Programm für die Semmeringlocomotiven.)

Auflösung. Gegeben ist $G = 2500$ Ctr. $= 275000$ Pfd.

$$V = \frac{1^1/_2 . 24000}{60 . 60} = 10', \quad \frac{1}{n} = \frac{1}{40}.$$

Die auf die Einheit der Kolbenfläche reducirte Zugkraft q beträgt, wenn sie auf die Peripherie der Treibräder reducirt wird, $Z = \frac{q\,d^2 L}{D}$. Es ist also nach (29):

$$Z = \left[v + \frac{\mu' S}{2R} \pm \frac{1}{n} - \frac{\mu' k c}{D}\right] G.$$ Setzen wir nun $v = \frac{1}{370}$, $\mu' = \frac{1}{6}$, $S = 4{,}6$, $R = 600$, $n = 40$, $k = \frac{1}{20}$, $c = 1'' = \frac{1'}{12}$, $G = 275000$ und $D = 3{,}5'$, weil es sich um eine Berglocomotive handelt, die bei geringer Geschwindigkeit eine große Zugkraft ausüben soll, so erhalten wir:

$Z = 7741{,}25$ Pfund oder annähernd 70 Centner.

Von hier aus läßt sich ein Schluß auf das Gewicht der Locomotive und des Tenders machen, so wie auf die Einrichtung der Räder. Die Zugkraft der Maschine muß kleiner sein als die gleitende Reibung der belasteten Treibräder. Setzen wir nun für immer noch günstige Zustände der Schienen den Coefficienten der gleitenden Reibung $\mu' = \frac{1}{7}$, so folgt für die Belastung der Treibräder 490 Ctr., da aber kein Treibrad stärker als mit 120 Ctr. belastet sein soll, so reichen 4 gekuppelte Treibräder nicht aus, um so weniger, als wir für die Fortbewegung der Locomotive und des Tenders einen nicht unbedeutenden Werth den obigen 70 Ctr. hinzuzufügen haben, und weil ja die Locomotive auch unter weniger günstigen Witterungsverhältnissen, wenn der Coefficient der gleitenden Reibung sinkt, noch brauchbar sein muß. Nehmen wir an, daß für den ungünstigsten Fall, für nasse, schmutzige und beschneite Schienen alle Räder der Locomotive und des Tenders mit einander gekuppelt werden können, so muß die Gesammtbelastung aller Treibräder, d. i. das Gesammtgewicht von Locomotive und Tender das 12fache der ganzen Zugkraft betragen, weil in diesem Falle der Coefficient der gleitenden Reibung nur $\frac{1}{12}$ beträgt. Obige 70 Ctr. betragen etwa den 36. Theil der Last von 2500 Ctr., wir können also die zur Fortbewegung der Locomotive und des Tenders nöthige Zugkraft gleich $\frac{1}{36}$ G′ nehmen, wenn G′ das Gewicht der Gesammtmaschine bezeichnet. Daher ergiebt sich nun die Gleichung:

$$12\left(70 + \frac{1}{36} G'\right) = G', \text{ und hieraus:}$$

$$G' = 1260 \text{ Ctr.}$$

Da kein Treibrad mit mehr als 120 Ctr. belastet werden darf, so folgt, daß 10 Treibräder nicht genügen, man wird also mindestens 12 Treibräder wählen müssen, oder sicherer 14, weil das Gewicht der Locomotive und des Tenders durch Wasser und Kohlenverbrauch vorübergehend kleiner werden kann.

Die gesammte Zugkraft ist nun $70 + \frac{1}{36} G' = 105$ Ctr., soll die Adhärenz der Locomotivräder für mittlere Verhältnisse $\mu' = \frac{1}{8}$ noch ausreichen, so muß die Locomotive mindestens 840 Ctr. schwer sein und mindestens 8 gekuppelte Räder haben; für den Tender bliebe dann ein Gewicht von 420 Ctr. und 6 Räder, die mit den Rädern der Locomotive in Kuppelung müssen treten können.

(Vergleichen wir nun die bis jetzt gefundenen Resultate mit den Verhältnissen einer wirklichen, der aufgestellten Forderung entsprechenden Locomotive. Die Locomotive Bavaria aus der Fabrik von Maffei in München *), welche in der Concurrenz den Preis erhielt, hat 8 Räder, ihr Tender 6. Alle 14 Räder sind genau gleich groß und lassen sich alle kuppeln. Die Kuppelung ist die gewöhnliche, die zwischen Locomotive und Tender geschieht mittelst zweier Zahnräder und einer endlosen Kette. Das Gewicht der gefüllten Locomotive beträgt 880 Ctr., das des geladenen Tenders 408 Ctr.)

Aus der oben gefundenen Gleichung $Z = \frac{q\,d^2 L}{D}$ ergiebt sich $q = \frac{Z D}{L\,d^2}$; d. i., wenn wir $L\,d^2$ zunächst noch unbestimmt lassen:

$$q = \frac{27094{,}375}{L\,d^2}, \text{ und eben so}$$

$$b = \frac{1260}{2500}\,q = \frac{13655{,}564}{L\,d^2}, \text{ also } b + q = \frac{40750}{L\,d^2}.$$

Nehmen wir die Anzahl der Wagen, auf welche die 2500 Ctr. verladen werden, zu 12 an, so folgt nach 23

$$\gamma v^2 = \frac{\varepsilon V^2 D}{L\,d^2} = \frac{0{,}153 \,.\, 2{,}5 \,.\, 10^2 \,.\, 3{,}5}{L\,d^2} = \frac{134}{L\,d^2}, \text{ also } q + b + \gamma v^2 = \frac{40884}{L\,d^2}.$$

Aus (19) folgt nun

$$q' + b + \gamma v^2 = \frac{1}{1+\mu}(P - f - s - k - \delta v') = \frac{40884}{L\,d^2}.$$

Setzen wir nun die Dampfspannung im Kessel zu 7 Atmosphären oder $P = 105$ Pfund, und schätzen vorläufig die Summe der Subtractoren $f + s + k + \delta v'$ zu 20 Pfund ab, so folgt, da μ für Maschinen mit gekuppelten Rädern $= 0{,}215$ zu nehmen ist:

*) Dingler's Polytechnisches Journal. Bd. CXXIV. S. 94 und 244.

$$\frac{1}{1+\mu}(P - f - s - k - \delta v') = 70;\text{ also ist}$$

$$L\,d^2 = \frac{40884}{70} = 584.$$

Hierbei ist L in Fußen, d in Zollen zu nehmen; soll d auch in Fußen ausgedrückt werden, so wäre $L\,d^2 = \frac{584}{144}$ oder nahe 4.

Gewöhnlich ist die Länge L des Kolbenhubes das $1^1/_2$fache des Kolbendurchmessers, wollen wir dieses Verhältniß auch hier festhalten, so folgt $d = 1{,}386'$ oder nahe $1'\ 4^2/_3''$ und $L = 2{,}079$ oder nahe $2'\ 1''$.

Der von Pambour für gekuppelte Maschinen angegebene Reibungscoefficient $\mu = 0{,}215$ bezieht sich nur auf einfach gekuppelte Maschinen, bei der vielfachen Kuppelung unserer Maschine, die selbst Ketten und Zahnräder zu diesem Ende anwendet, ist jedenfalls dieser Werth etwas zu klein, nehmen wir deshalb den doppelten Werth dafür, also $\mu = 0{,}43$, so erhalten wir etwas größere Werthe für L und d. Es ist dann:

$$\frac{1}{1+\mu}(P - f - s - k - \delta v') = 59{,}5,\text{ und } L\,d^2 = \frac{40884}{59{,}5}$$

$= 687$ oder, wenn d auf Fuße bezogen wird, gleich 4,77. Hiernach ist dann $d = 1{,}47'$ oder $1'\ 5^2/_3''$ und $L = 2{,}\ 2'$ oder nahe $2'\ 2^1/_2''$.

(Bei der Locomotive Bavaria ist der Kolbendurchmesser $19^1/_3''$, also um $1^2/_3''$ größer als der zuletzt berechnete Werth, und L ist 29″, also um $2^1/_2''$ größer. Daraus folgt, daß die Arbeitsfähigkeit der Maschine etwas größer ist, als wie im Programm verlangt war. Der Maximaldruck des Dampfes soll bei ihr, nicht wie wir angenommen haben, 105 Pfund, sondern nur 102 Pfund betragen, was auch eine geringe Vergrößerung der Dimensionen nöthig macht.)

Nehmen wir für die weitere Rechnung unseren zuletzt berechneten Werth an, also $d = 1{,}47'$, so folgt für $F = 2\,.\,\frac{d^2\pi}{4}$ der Werth: 3,39 Quadratfuß oder 489 Quadratzoll.

Aus (20) folgt als die entsprechende Kolbengeschwindigkeit $v = \frac{2\,L\,V}{D\pi}$ $= 4{,}002'$.

Nehmen wir diese Geschwindigkeit als die kleinste Geschwindigkeit v′ an, welche die Locomotive bei voller Kraftanwendung hervorbringt, so folgt aus (18)

$$M = \frac{F\,(L+a)\,(\alpha+\beta P)\,v'}{L} = \frac{3{,}39\,.\,21\,.\,0{,}003523\,.\,4{,}002'}{20} = 0{,}0502,$$

da $a = \frac{1}{10}$ L zu setzen ist.

Also ist $M = 0{,}0502$. In der Minute müssen also $60\,.\,0{,}0502$ oder 3,012 Kubikfuß Wasser verdampft werden können.

Um hieraus die Größe der Heizfläche zu finden, wenden wir die Formel (28) an und erhalten:

$$H = 18000\, M \sqrt[4]{\frac{30}{V}} = 1190$$ Quadratfuß, hiervon kommen auf die directe Heizfläche 108 Quadratfuß, nämlich $^1/_{11}$, und auf die indirecte 1082 Quadratfuß. Soll der Kessel 200 Feuerröhren zu 2″ Durchmesser erhalten, so folgt für die Länge seines cylindrischen Theils zwischen der Rauchkammer und Feuerkammer der Werth:

$$\frac{1082}{200 \cdot {}^1/_6 \cdot \pi} = 10{,}33'.$$

(Die Bavaria hat eine directe Heizfläche von 109 Quadratfuß, dagegen eine indirecte von 1468 Quadratfuß, die durch 229 messingene $^7/_4$″ weite und $13^1/_2$′ lange Röhren gebildet wird. Daß hier die indirecte Heizfläche etwas größer erscheint als die berechnete, erklärt sich daraus, daß schon die etwas vergrößerten Dimensionen der Cylinder auf eine größere Leistungsfähigkeit hindeuteten.)

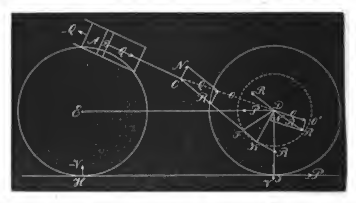
B. Die besonderen Erscheinungen in der Bewegung der Locomotive.

Im vorigen Abschnitt haben wir aus dem allgemeinen Effect der Dampfwirkung die allgemeinen Verhältnisse in der Fortbewegung der Locomotive abgeleitet, es bleibt uns noch übrig die besonderen Erscheinungen in der Bewegung der Locomotive hervorzuheben, die sich gewöhnlich bei jeder Umdrehung der Treibaxe wiederholen. Der Umstand, daß zwei Dampfmaschinen an verschiedenen Punkten des Locomotivkörpers wirken, daß sie nicht gleichmäßig wirken, sondern bei rechtwinklig gegen einander gestellten Kurbeln in ihrer Hauptwirkung gleichsam sich ablösen, ferner daß die Bewegung der Kolben eine ungleichmäßige ist, da sie auf der Mitte ihrer Bahn sich am schnellsten bewegen, daß einzelne Theile der Locomotive sich gegen die anderen bewegen, diese Theile aber auch nicht unbeweglich mit einander verbunden sind, sondern mittelst der Tragfedern zwischen dem Gestell und dem Rahmen ein elastischer Verband besteht, alle diese Umstände bringen Erscheinungen in der Bewegung der Locomotive hervor, die einer näheren Erörterung bedürfen.

Außer der fortschreitenden Hauptbewegung der Locomotive, welche das Ziel der Construction ist, unterscheidet man noch 4 Arten von Nebenbewegungen, die mehr oder minder hinderlich sind und nachtheilig auf den Locomotivkörper einwirken. Hierhin gehören 1) das Rücken, ein stoßweißes Voreilen und Zurückbleiben im Vergleich mit der mittleren Bewegung, 2) das Schlängeln oder Schwänzeln, ein Drehen um eine vertikale Axe, ein Bestreben, bald rechts, bald links auszuweichen; 3) das Schwanken, ein Bestreben, um eine horizontale Längenaxe sich zu drehen, so daß die Locomotive bald nach rechts, bald nach links hin umstürzen möchte, und 4) das Galoppiren, ein Bestreben, sich um eine horizontale Queraxe zu drehen, in Folge dessen die Vorderräder bald stärker bald schwächer gegen die Schienen drücken. Die entgegengesetzten Bewegungsbestrebungen, die in jeder dieser vier Bewegungsarten enthalten sind, folgen innerhalb einer Umdrehung der Treibaxe auf einander, und wenn sie auch nicht so stark sind, ein wirkliches Entgleisen oder Umstürzen der Locomotive zu bewirken, so

erschüttern sie doch den ganzen Bau der Locomotive, deren einzelne Theile durch ihre Festigkeit dieser Erschütterung widerstehen müssen *).

Es sei in beistehender Figur D die Drehungsaxe der Treibaxe, F die Kurbelwarze, CF die Treibstange, BC die Kolbenstange, B der Kolben, E die Axe des vorderen Räderpaars, HJ die Schienenbahn. Der in dem Cylinderraum A befindliche Dampf drücke mit der Kraft Q auf den Kolben nach hinten, dann übt er gleichzeitig auf die vordere Bodenwand des Cylinders den entgegengesetzten Druck — Q aus. Der Druck Q pflanzt sich durch die Kolbenstange fort und zerlegt sich in C in zwei Seitenkräfte, in den Druck R in der Richtung der Treib-



stange und in den Druck N, senkrecht zur Richtung der Kolbenstange. Dieser Druck N wird durch den Führungsrahmen für das Querhaupt der Kolbenstange aufgenommen. Der Druck R wirkt auf die Kurbelwarze F, und seine Wirkung ist gleich der Wirkung einer gleichen und gleichgerichteten Kraft DR im Mittelpunkte D plus der Wirkung eines Kräftepaars (R, — R), dessen Moment $R \times DK = Rc$ ist, wenn wir das Loth $DK = c$ setzen. Die Kraft DR in D zerlegt sich wieder in zwei Seitenkräfte, von denen die eine $= Q$, in der Richtung der Kolbenstange wirkt, und die andere — N senkrecht dagegen gerichtet ist. Die in D wirkende Kraft Q hebt sich mit der gegen den Boden des Cylinders wirkenden Kraft — Q auf, die in D wirkende Kraft — N bildet aber mit der in C wirkenden Kraft N ein Kräftepaar (N, — N), dessen Moment $= Nh$ ist, wenn $CD = h$ gesetzt wird. Aus dem Dampfdruck im Cylinder resultiren also zwei Gegenpaare (R_1 — R) mit dem Moment Rc, und (N, — N) mit dem Moment Nh. — Bekanntlich ist ein Kräftepaar gleichgeltend einem anderen Kräftepaare, das denselben Körper angreift, in derselben Ebene wirkt, dasselbe Moment und dieselbe Drehrichtung besitzt. Das Kräftepaar (R, — R) wirkt auf das Treibrad, ist also gleichgeltend einem anderen Paare (P, — P), dessen eine Kraft P in dem Mittelpunkte D, die andere — P an der Radperipherie, im Berührungspunkte derselben mit der Schienenbahn wirkt. Setzen wir den Radius des Treibrades $DJ = a$, so ist:

*) Vergleiche mit nachfolgender Entwickelung: Weisbach, Ingenieur- und Maschinenmechanik. Th. III. S. 287 ff.

$$Pa = Rc, \text{ oder } P = \frac{Rc}{a} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Von den Kräften dieses Paares wird die eine — P aufgehoben durch den Widerstand, den die Radperipherie auf der Schienenbahn findet, wenn sie darauf gleitend sich bewegen will, die andere + P, an der Radaxe wirkend, bewirkt die Fortbewegung des Wagens. Hieraus folgt auch, daß P nicht größer sein darf, als das Maß der gleitenden Reibung zwischen dem Radkranze und der Schiene. Das andere Kräftepaar (N, — N) greift nicht ein einzelnes Rad, sondern den ganzen Locomotivkörper an und läßt sich in ein anderes Paar vertikaler Kräfte (V, — V) verwandeln, welches die beiden Radaxen angreift. Setzen wir die Entfernung dieser beiden Axen DE = d, so ist:

$$Vd = Nh, \text{ oder } V = \frac{Nh}{d} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Durch die eine dieser beiden Kräfte — V wird der Druck des einen Räderpaares gegen die Schienen vermindert, durch die andere V der Druck des anderen Räderpaares gegen die Schienen vermehrt.

Für den in der Figur gedachten Fall wirkt die Treibstange CF schiebend, und das Kräftepaar (N, — N), also auch das da gleichgeltende (V, — V), hat eine solche Drehrichtung, daß der Druck des vorderen Räderpaares E gegen die Schienen vermindert, der des hinteren vermehrt wird. Ist die Kurbelwarze F über den todten Punkt O' hinausgegangen, so hat zwar die Treibstange eine entgegengesetzte Lage angenommen, aber gleichzeitig ist ihre Wirkungsweise entgegengesetzt geworden, sie wirkt ziehend, so daß die Drehrichtung des Kräftepaares (V, — V) unverändert bleibt, es wird also fortwährend durch die Wirkung des Dampfdrucks der Druck der vorderen Räder gegen die Schienen vermindert, der der hinteren Räder, hier der Treibräder, vermehrt.

Auch das Kräftepaar (P, — P) behält für die rückgehende Bewegung der Treibstange seine Drehrichtung, aber die beiden einzelnen, gleichen Kräfte Q — Q nehmen die entgegengesetzte Richtung an, so daß sie jetzt, wenn sie auch auf die fortschreitende Bewegung des Locomotivkörpers ohne Einfluß sind, das Bestreben haben, Treibradaxe und Dampfcylinder einander zu nähern, während sie dieselben in dem in der Figur angenommenen Falle von einander zu entfernen sich bemühen werden. Nun ist aber der Gestellrahmen, der die Cylinder trägt, durch die Tragfedern mit den Radaxen verbunden und diese können einer vertikal wirkenden Kraft nachgeben. Liegen nun die Dampfcylinder etwas schräg, so werden sich die eben so schräg wirkenden Kräfte Q und — Q in zwei horizontale und zwei vertikale Seitenkräfte zerlegen lassen, und diese vertikalen Seitenkräfte werden ein abwechselndes Heben und Niederziehen des Rahmens bewirken und zwar ein Heben bei der hingehenden Bewegung des Kolbens, ein Niederziehen bei der rückkehrenden. Die horizontalen Componenten der Druckkräfte Q, — Q werden von der Festigkeit der Langhölzer des Rahmens und ihrer Leitungsbacken aufgenommen. Liegen aber die Cylinder horizontal, so fallen jene vertikalen Componenten weg, wodurch eine ruhigere Lage des Rahmens mit dem Kessel erzielt wird. Hieraus folgt nun daß man ohne besondere Gründe nicht von der horizontalen Lage der Dampfcylinder abweichen darf.

Aehnlich verhält es sich mit dem Kräftepaar (N, — N). Die eine Kraft N

greift in der Treibradaxe D an, die andere — N am Leitungsrahmen des Kolbenstangenkopfes; zwischen beiden Angriffspunkten liegt abermals die Tragfeder. Man erkennt leicht, daß durch diese Kräfte fortwährend ein Heben des Rahmens (wenn auch mit veränderlicher Kraft) erzielt wird, und zwar daß dieses Bestreben um so größer ist, je mehr die Lage der Dampfcylinder sich der horizontalen nähert, und daß erst bei vertikal gestellten Cylindern die Kraft — N keine Wirkung auf die Tragfeder ausüben würde. Zugleich erhellt aber auch, daß trotzdem die horizontale Lage vorzuziehen bleibt, theils weil die Kraft — N in stets gleichem Sinne auf die Tragfeder wirkt, die Kräfte Q, — Q aber abwechselnd hebend und niederziehend wirken, theils aber weil N gegen Q klein bleibt. Wir können zunächst annehmen, daß der Dampfdruck Q gegen den Kolben unveränderlich sei während eines Doppelhubes, die Kräfte N, P, V sind es aber nicht. Die Kraft N verschwindet, wenn die Kurbelwarze in den todten Punkten P und O' steht, sie steht im Maximum, wenn der Winkel D C F seinen größten Werth hat; eben so schwankt V zwischen o und einem Maximalwerthe. Steht die Kurbelwarze in den todten Punkten, so ist das Perpendikel $DK = c = o$, folglich verschwindet in dieser Lage auch die Kraft P; da nun während einer Arendrehung die Kräfte P, V, N zweimal o werden, und zweimal ein Maximum erreichen, so ist ihre Wirkung auf die Locomotive eine ungleichmäßige, die erzeugte Bewegung eine unruhige. Zwar wird dieser Uebelstand zum Theil dadurch gemäßigt, daß gleichzeitig zwei Dampfcylinder arbeiten, von denen der eine im Maximum der Wirkung steht, wenn der andere in den todten Punkten sich befindet, so daß Mangel und Ueberfluß auf der einen und der anderen Seite sich ausgleichen, doch entstehen hieraus wieder andere Mißstände. Bezeichnen P_1, N_1, V_1 die obigen gleich bezeichneten Kräfte für den Dampfcylinder auf der rechten Seite, P_2, N_2, V_2 für den anderen, so sind diese Kräfte nur für zwei Momente in der Umdrehung beiderseitig bezüglich gleich, für die ganze übrige Zeit ungleich, abwechselnd die einen größer, oder die anderen. Da aber diese Kräfte selbst nicht in der Mitte der Locomotive wirken, sondern an der Seite derselben, so bringt ihre Ungleichheit ein Drehungsbestreben der Locomotive hervor, das um so größer ist, je weiter die Kurbelebenen von einander entfernt liegen, in denen jene zwei Kräftegruppen wirken.

Die beiden Kräfte P_1 und P_2 vereinigen sich zwar zu einer Mittelkraft:

$$P = P_1 + P_2,$$

welche die Mitte der Are angreift, da sie aber ungleich sind, so resultirt noch zugleich ein Kräftepaar, dessen Moment $\frac{(P_1 - P_2)\,b}{2}$ ist, wenn wir mit b den Abstand der beiden Kurbelebenen bezeichnen. Reduciren wir dieses Kräftepaar auf ein anderes (S, — S) und denken wir uns die einzelnen Kräfte S, — S auf die Treibräder selbst wirkend und bezeichnen die Spurweite mit s, so muß:

$$Ss = \frac{(P - P_2)\,b}{2} \text{ sein, oder } S = \frac{(P_1 - P_2)\,b}{2S} \text{ sein. . . . . (3).}$$

Die Wirkung dieses Kräftepaars auf die Locomotive ist nun das Bestreben zu einer solchen Drehbewegung, als ob gleichzeitig das rechte Treibrad mit einer Kraft

$$S = \frac{(P_1 - P_2)\,b}{2S}$$

nach vorn gezogen, das linke mit einer gleichen Kraft nach hinten gedrückt werde, wobei es sich von selbst versteht, daß diese Drehbewegung als die entgegengesetzte zu denken ist, wenn $P_1 < P_2$ ist. Die Axe dieser Drehbewegung ist aber eine vertikale, und da jede der beiden Kräfte P_1 und P_2 während einer Umdrehung zweimal o wird und ihren Maximalwerth erreicht, so folgt, daß auch während dieser Zeit die Locomotive zweimal mit ihrer rechten, und eben so oftmal mit ihrer linken Seite voreilen möchte.

Die beiden Kräfte V_1 und V_2 vereinigen sich zwar in der Mitte der Treibradaxe zu einer Mittelkraft

$$V = V_1 + V_2,$$

welche die Stärke des Drucks angiebt, um welche der Gewichtsdruck der Treibräder gegen die Schienen noch durch die Dampfwirkung vermehrt, der der vorderen Räder aber vermindert wird, aber zugleich resultirt noch ein Kräftepaar, dessen Moment

$$\frac{(V_1 - V_2)\,b}{2}$$

ist, und in ein anderes $(T, -T)$ verwandelt werden kann, das die Treibräder selbst angreift; dann ist:

$$T s = \frac{V_1 - V_2\,b}{2}, \text{ oder } T = \frac{(V_1 - V_2)\,b}{2\,s} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

Die Wirkung dieses Kräftepaares ist ein Drehbestreben um eine horizontale Längsaxe und zwar in dem Sinne, als ob eine Kraft

$$T = \frac{(V_1 - V_2)\,b}{2\,S}$$

das linke Treibrad nach oben, eine eben so große aber das rechte Treibrad nach unten zu bewegen sich bestrebt, als ob ein Umstürzen der Locomotive an dieser Stelle nach der rechten Seite hin stattfinden sollte. Ist $V_1 < V_2$, so findet natürlich das entgegengesetzte Bestreben statt, und da bei einer Umdrehung diese Kräfte auch zweimal verschwinden und zweimal einen Maximalwerth annehmen, so folgt auch hier ein zweimaliger Wechsel dieser Drehbewegung während einer Umdrehung. Zu übersehen ist hierbei nicht, daß in jedem Momente die Axe der vorderen Räder das entgegengesetzte Drehbestreben erfährt, so daß der ganze Locomotivkörper unter der Wirkung der beiden entgegengesetzten Kräfte eine gewisse Torsion erleidet.

Es ist oben schon angeführt, daß durch die Wirkung der Kräfte N der Rahmen sammt dem Kessel eine gewisse Hebung erfährt. Ist i der Neigungswinkel der Cylinderaxe gegen den Horizont, so ist $N \cos i$ diese Hebekraft. Nun wirken aber zwei solche Kräfte $N_1 \cos i$ und $N_2 \cos i$ zu beiden Seiten des Rahmens; sie vereinigen sich zu einer Mittelkraft

$$N \cos i = (N_1 + N_2) \cos i,$$

aber auch zu einem Kräftepaar, dessen Moment $\frac{(N_1 - N_2)\,b \cos i}{2}$ ist. Die Wirkung dieses Kräftepaares ist dieselbe, als ob eine Kraft $\frac{(N_1 - N_2) \cos i}{2}$ die rechte

Seite des Rahmens aufwärts und eine gleiche die linke Seite niederwärts drücken wollte, und zwar, daß die entgegengesetzte Bewegung gedacht werden muß, wenn $N_1 < N_2$ ist. Dieses Schwanken des Rahmens mit dem Kessel wiederholt sich ebenfalls zweimal während einer Treibradsumdrehung.

Was nun die beiderseits wirkenden Druckkräfte Q_1 und Q_2 betrifft, so sind sie zwar (annähernd) unveränderlich gleich groß, doch kehren sie ihre Richtung für die rückkehrende Bewegung der Treibstange um. Da nun während einer Umdrehung in zwei Quadranten beide Kolbenstangen übereinstimmende, in zwei Quadranten aber entgegengesetzte Bewegungen haben, so folgt für die Einwirkung auf den Kessel, daß während der Bewegung der Kurbel durch zwei Quadranten der Kessel beiderseits gehoben oder niedergezogen wird, während der Bewegung in den beiden anderen Quadranten wird er auf der einen Seite gehoben und auf der anderen niedergezogen, so daß ein seitliches Schwanken eintritt. Die Kraft, mit welcher auf die einseitige Hebung des Kessels eingewirkt wird, ist $Q \sin i$, also ist die gemeinschaftliche Mittelkraft, wenn die beiderseitigen Kräfte in demselben Sinne wirken, $= 2\,Q \sin i$; wirken sie aber im entgegengesetzten Sinne, so ist das Moment des dadurch entstehenden Kräftepaars

$$Q\,b \sin i.$$

Um vorstehende Betrachtungen noch etwas weiter durch Rechnung zu verfolgen, wollen wir den Kurbelradius $DF = r$, die Länge der Treibstange $CF = l$, den Winkel ODF, den die Kurbel vom todten Punkte O aus beschrieben $= \beta$, den Winkel DCF der Treibstange mit der Kolbenstangenrichtung $= \alpha$ setzen und wollen α als einen kleinen Winkel behandeln, dessen Tangente allenfalls seinem Sinus gleichgesetzt werden kann und dessen Cosinus nahezu gleich 1 ist.

Aus dem Druck CDF folgt: $l \sin \alpha = r \sin \beta$, also: $\sin \alpha = \frac{r}{l} \sin \beta$,

eben so: $CD = h = l \cos \alpha + r \cos \beta$ oder angenähert $h = l + r \cos \beta$.

Die Zerlegung der Kraft Q in die beiden Seitenkräfte N_1 und R_1 liefert:

$$N_1 = Q \operatorname{tg} \alpha, \text{ oder angenähert } N_1 = Q \sin \alpha = \frac{Q\,r}{l} \sin \beta.$$

$$R_1 = \frac{Q}{\cos \alpha}, \text{ oder angenähert: } R_1 = Q.$$

Nun ist aus Dreieck DFK:

$$DK = c = DF \sin \measuredangle DFK = r \sin (\alpha + \beta) = r (\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta),$$

oder angenähert:

$$c = r \sin \beta \left(1 + \frac{r}{l} \cos \beta\right). \text{ Deshalb folgt nach (1)}$$

$$P_1 = \frac{R_1 c}{a} = \frac{Q\,r \sin \beta}{a} \left(1 + \frac{r}{l} \cos \beta\right).$$

Ebenso folgt aus (2)

$$V_1 = \frac{N_1 h}{d} = \frac{Q\,r \sin \beta\,(l + r \cos \beta)}{l\,d}.$$

Da für den 3. und 4. Quadranten von β die erste Treibstange rückgängig ist, so muß man für diese Fälle die entgegengesetzten Werthe aus diesen Formeln nehmen.

Denken wir uns die Kurbel des zweiten Dampfcylinders um 90° der ersten Kurbel nachfolgen, so erhalten wir die entsprechenden gleichzeitigen Werthe für N_2, P_2, V_2, wenn wir in obige Formeln $\beta - 90^0$ an die Stelle von β setzen; es geht dann $\sin\beta$ in $-\cos\beta$, und $\cos\beta$ in $\sin\beta$ über, und wir erhalten die angenäherten Werthe:

$$N_2 = -\frac{Q\,r}{l}\cos\beta$$

$$P_2 = -\frac{Q\,r\cos\beta}{a}\left(1 + \frac{r}{l}\sin\beta\right)$$

$$V_2 = -\frac{Q\,r\cos\beta}{d}\left(1 + \frac{r}{l}\sin\beta\right)$$

Da die zweite Treibstange für den 1. und 4. Quadranten von β rückgängig ist, so sind für diese Fälle die entsprechenden Werthe von N_2, P_2, V_2 aus diesen Formeln mit den entgegengesetzten Zeichen zu nehmen. Es stellt sich demnach für die einzelnen Quadranten der Umdrehung die Rechnung verschieden.

Die augenblickliche Zugkraft ist im ersten Quadranten von β:

$$P' = P_1 + P_2 = \frac{Q\,r}{a}\left(\sin\beta + \cos\beta + \frac{r}{l}\sin 2\,\beta\right).$$

Am Anfang und Ende beträgt sie $\frac{Q\,r}{a}$ und erreicht ihr Maximum, wenn $\tan\beta = 1$ ist, d. h. bei $\beta = 45^0$ und es ist alsdann die Zugkraft $\frac{Q\,r}{a}\left(\sqrt{2} + \frac{r}{l}\right)$.

Für den zweiten Quadranten von β ist die Zugkraft:

$$P'' = P_1 + P_2 = \frac{Q\,r}{a}(\sin\beta - \cos\beta).$$

Für den Anfang und das Ende des Quadranten ist wiederum $P' = \frac{Q\,r}{a}$, das Maximum tritt ein, wenn $\tan\beta = -1$ ist, also für $\beta = 135^0$ und es ist dann $P'' = \frac{Q\,r}{a}\sqrt{2}$

In ganz gleicher Weise ergiebt sich für den Anfang und das Ende des dritten und vierten Quadranten die Zugkraft $= \frac{Q\,r}{a}$, das Eintreten des Maximums für die Mitte der Quadranten, und für die beiden bezüglichen Maximalwerthe $\frac{Q\,r}{a}\left(\sqrt{2} - \frac{r}{l}\right)$ und $\frac{Q\,r}{a}\sqrt{2}$. Verfolgen wir nun den Verlauf der Zugkraft für eine Umdrehung des Treibrades von 45° zu 45° und nehmen dabei $\frac{r}{l} = \frac{1}{5}$ an, wie es gewöhnlich stattfindet, so ist:

Drehungswinkel β =	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Zugkraft, allgemeine	$\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}\left(\sqrt{2}+\frac{r}{l}\right)$,	$\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}\sqrt{2}$,	$\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}\left(\sqrt{2}+\frac{r}{l}\right)$,	$\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}\sqrt{2}$.
„ , r = 1/5,	$\frac{Qr}{a}$,	$1{,}614\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}$,	$1{,}414\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}$,	$1{,}214\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}$,	$1{,}414\frac{Qr}{a}$.

Berechnet man für jeden einzelnen Quadranten die Arbeit der Zugkraft durch Entwickelung des Ausdrucks $a \int P\, d\beta$, das Integral zwischen den Grenzwerthen des Quadranten genommen, und theilt das Resultat durch den entsprechenden Weg $\frac{a\pi}{2}$, so erhält man die mittlere Zugkraft der einzelnen Quadranten, bezüglich

$$\frac{2}{\pi}\left(2+\frac{r}{l}\right)\frac{Qr}{a},\ \frac{4}{\pi}\frac{Qr}{a},\ \frac{2}{\pi}\left(2-\frac{r}{l}\right)\frac{Qr}{a},\ \frac{4}{\pi}\cdot\frac{Qr}{a}.$$

Die mittlere Zugkraft während der ganzen Umdrehung ist somit $\frac{4\,Q\,r}{a\,\pi}$, so groß muß auch für den Gleichgewichtszustand der Bewegung der mittlere Widerstand der Bewegung sein. So lange die Zugkraft P kleiner bleibt als $\frac{4\,Q\,r}{a\,\pi}$, tritt eine kleine Verzögerung in der mittleren Bewegung der Locomotive ein, eine Beschleunigung aber, wenn $P > \frac{4\,Q\,r}{a\,\pi}$ ist. Eigentlich sollte in jedem Quadranten der Umdrehung einmal P seinen mittleren Werth überschreiten, so daß also während einer Umdrehung 4 Mal eine Beschleunigung und 4 Mal eine Verzögerung der Bewegung eintritt; die beschleunigende Kraft ist $P - \frac{4\,Q\,r}{a\,\pi}$, die verzögernde $\frac{4\,Q\,r}{a\,\pi} - P$. Entwickelt man aber für jeden Quadranten die Gleichung $P = \frac{4\,Q\,r}{a\,\pi}$, so erhält man je zwei Werthe für β, welche dem abwechselnden Uebergang der verzögerten in die beschleunigte Bewegung entsprechen; diese 8 Werthe sind, wenn wir $\frac{r}{l} = \frac{1}{5}$ setzen, angenähert:

12° 18′, 77° 42′, 109° 13′, 160° 47′ im. im. 289° 13′, 340° 47′.

Die beiden Werthe des dritten Quadranten sind imaginär, was sich auch daraus erklärt, daß der Maximalwerth der Zugkraft im dritten Quadranten $1{,}214\frac{Qr}{a}$ immer noch kleiner ist als der mittlere Werth $\frac{4\,Q\,r}{a\,\pi} = 1{,}273\frac{Qr}{a}$. Deshalb ist der Verlauf der Bewegung während einer Umdrehung folgender:

Bei der Drehung von 0° bis 12° 18′ ist die Bewegung verzögert, von 12° 18′ bis 77° 42′ ist sie beschleunigt, von da bis 109° 13′ verzögert, dann bis 160° 47′ beschleunigt, nun aber bis 289° 13′ — also durch einen Bogen von 128° 26′ hindurch — verzögert, sodann bis 340° 47′ wieder beschleunigt und

zuletzt bis 360° wieder verzögert. Das Maximum der Geschwindigkeit wird bei 77° 42', das Minimum bei 289° 13' eintreten.

Bezeichnet v die Geschwindigkeit des Wagenzuges, wenn $\beta = o$ ist, also im Anfange einer einzelnen Drehung, und M das Gewicht des gesammten Wagenzuges, v' die Geschwindigkeit nach der Drehung β, so ist für $\beta = o$ die lebendige Kraft (= Arbeitsmoment) des gesammten Wagenzuges $\frac{M v^2}{2 g}$, und dieses nimmt bei der Drehung β zu um $\frac{M (v'^2 - v^2)}{2 g}$. Hierbei wollen wir den von der Rotation der Räder und Axen herrührenden Theil nicht weiter beachten. Die Arbeit der beschleunigenden Kraft $P - \frac{4 Q r}{\pi a}$ während der Drehung β ist

$$a \int_0^\beta \left(P - \frac{4 Q r}{\pi a}\right) d\beta,$$ also wenn β innerhalb des ersten Quadranten bleibt

$$a \int_0^\beta \frac{Q r}{a} \left(\sin\beta + \cos\beta + \frac{r}{l} \sin 2\beta - \frac{4}{\pi}\right) d\beta =$$

$$Q r \left(1 + \frac{r}{2 l} \sin\beta - \cos\beta - \frac{r}{2 l} \cos 2\beta - \frac{4\beta}{\pi}\right).$$

Dieser Werth muß dem vorigen $\frac{M (v'^2 - v^2)}{2 g}$ gleich sein, es ist also:

$$v'^2 = v^2 + \frac{2 Q r g}{M} \left(1 + \frac{r}{2 l} + \sin\beta - \cos\beta - \frac{r}{2 l} \cos 2\beta - \frac{4\beta}{\pi}\right);$$

oder angenähert:

$$v' = v + \frac{Q r g}{M v} \left(1 + \frac{r}{2 l} + \sin\beta - \cos\beta - \frac{r}{2 l} \cos 2\beta - \frac{4\beta}{\pi}\right).$$

Setzen wir $\beta + 77^\circ 42'$, so folgt:

$$v' = v + 0{,}2282 \frac{Q r g}{M v}.$$

Die Arbeit der Beschleunigung im ganzen ersten Quadranten ist $\frac{Q r^2}{l} = 0{,}2\ Q r$, die im zweiten Quadranten ist 0, die im dritten $= -\frac{Q r^2}{l} = -0{,}2\ Q r$, hebt sich also mit dem Gewinn im ersten Quadranten auf, so daß das Arbeitsmoment, also auch die Geschwindigkeit bei $\beta = 270^\circ$ eben so groß ist, als bei $\beta = 0$. Im vierten Quadranten beträgt für die Drehung von 270° bis β, der Zuwachs am Arbeitsmoment:

$$a \int_{270}^{\beta} \left(P - \frac{4\,Q\,r}{\pi\,a}\right) d\,\beta = a \int_{270^0}^{\beta} \frac{Q\,r}{a} \left(\cos\beta - \sin\beta - \frac{4}{\pi}\right) d\,\beta =$$

$$Q\,r \left(7 + \sin\beta + \cos\beta - \frac{4\,\beta}{\pi}\right).$$

Da auch dieser Werth gleich $\frac{M\,(v'^2 - v^2)}{29}$ sein muß, so folgt jetzt:

$$v' = v + \frac{Q\,r\,g}{M\,v} \left(7 + \sin\beta + \cos\beta - \frac{4\,\beta}{\pi}\right).$$

Für $\beta = 289^0\ 13'$ folgt:

$$v' = v - 0{,}0423\,\frac{Q\,r\,g}{M\,v}.$$

Der Unterschied zwischen dem Minimum und dem Maximum der Geschwindigkeit beträgt somit $0{,}2705\,\frac{Q\,r\,g}{M\,v}$, oder in Theilen der anfänglichen Geschwindigkeit: $0{,}2705\ \frac{Q\,r\,g}{M\,v^2}$.

Setzen wir die mittlere Zugkraft oder den mittleren Widerstand $\frac{4\,Q\,r}{a\,\pi}$ für eine Bewegung auf horizontaler Bahn beiläufig $= \frac{1}{250}\,M$, so folgt $\frac{Q\,r}{M} = \frac{a\,\pi}{1000}$, und jenes Schwanken in der Geschwindigkeit ist jetzt: $0{,}0002705\ \frac{a\,g\,\pi}{v^2} = 0{,}02656\ \frac{a}{v^2}$.

Setzen wir beispielsweise $a = 3'$, $v = 20$, so wird dieser Ausdruck $0{,}0001992$, der Zug schwankt also bei jeder Umdrehung der Treibräder in seiner Geschwindigkeit um etwa 0,004 Fuß. Dieses Beispiel mag zeigen, wie gering in der Regel diese Schwankungen sind, doch zeigt uns noch der letzte Ausdruck, daß wenn M und v gering, Q und r aber groß sind, was bei Berglocomotiven der Fall ist, dieses Schwanken auch bedeutender wird.

Aus der Vereinigung der beiden Kräfte P_1 und P_2 ergiebt sich aber noch ein Kräftepaar, dessen Moment $\frac{(P_1 - P_2)\,b}{2}$ ist, und dessen Wirkung gleich gesetzt werden kann dem Bestreben zweier gleicher Kräfte $S = \frac{(P_1 - P_2)\,b}{2\,s}$, welche die Treibräder angreifen und bald rechts, bald links verschieben möchten. Die nähere Untersuchung dieser Kräfte muß wieder für jeden Quadranten besonders angestellt werden, für uns kann es genügen, es nur für den ersten Quadranten zu thun. Die oben für P_1 und P_2 aufgestellten Werthe geben nun:

$$S = \frac{Q\,r\,b}{2\,b\,s}(\sin\beta - \cos\beta);$$ für $\beta = 0,\ 45^0,\ 90^0$, hat S den Werth

$$-\frac{Q\,r\,b}{2\,a\,s},\ 0\ ,\frac{Q\,r\,b}{2\,a\,s}.$$

d. h. für $\beta = 0$, will das linke Treibrad mit einem Druck $\frac{Q\,r\,b}{2\,a\,s}$ voreilen, das rechte aber zurückbleiben, bei $\beta = 90^0$ ist es gerade umgekehrt, und für $\beta = 45^0$ ist das Bestreben beider Räder zur Fortbewegung dasselbe. Hierdurch wird das Bestreben erzeugt, die Locomotive um eine durch ihren Schwerpunkt gehende vertikale Axe zu drehen, und wenn auch die Spurkränze der Räder eine solche Drehung verhindern, auch die entgegengesetzten Drehbestrebungen schnell auf einander folgen, so tritt doch wegen des Spielraums, den die Räder noch zwischen den Schienen haben, ein kleines Schwanken der Locomotive ein. Um nun für die Größe dieser schwankenden Bewegung eine irgend faßbare Vorstellung zu gewinnen, so wollen wir mit U das Trägheitsmoment der Locomotive für eine durch ihren Schwerpunkt gehende vertikale Drehaxe bezeichnen und mit L den Abstand der vorderen Radaxe vom Schwerpunkt der Locomotive. Unser Kräftepaar (S, — S) mit dem Moment $S\,s = \frac{Q\,r\,b}{2\,a}(\sin\beta - \cos\beta)$ läßt sich nun durch ein anderes ersetzen, dessen Kräfte die Richtung der Wagenaxen haben, die eine gehe durch den Schwerpunkt der Locomotive, die andere durch die vordere Radaxe; demnach hat jede dieser Kräfte eine Größe von $\frac{S\,s}{L} = \frac{Q\,r\,b}{2\,a\,L}(\sin\beta - \cos\beta)$. Wir können also annehmen, daß die vordere Axe in ihrer eigenen Richtung diesen Druck erfährt und in Folge dessen eine Seitenbewegung annimmt mit der Geschwindigkeit w und dem Wege x. Die auf die vordere Wagenaxe reducirte Locomotivenmasse ist $\frac{U}{L^2}$, folglich die Beschleunigung der Seitenbewegung $\frac{d\,w}{d\,t} = \frac{Q\,r\,b}{2\,a\,L}(\sin\beta - \cos\beta) : \frac{U}{L^2} = \frac{Q\,r\,b\,L}{2\,a\,U}(\sin\beta - \cos\beta)$. Ist v die mittlere Geschwindigkeit der Locomotive, so ist $a\,\beta = v\,t$, also $\frac{d\,t}{d\,\beta} = \frac{a}{v}$, also:

$$\frac{d\,w}{d\,\beta} = \frac{d\,w}{d\,t}\cdot\frac{d\,t}{d\beta} = \frac{Q\,r\,b\,L}{2\,v\,U}(\sin\beta - \cos\beta),$$ also:

$$w = \frac{Q\,r\,b\,L}{2\,v\,U}(1 - \sin\beta - \cos\beta),$$ wenn wir annehmen, daß $w = 0$ ist, wenn $\beta = 0$ ist.

Nun ist

$$\frac{d\,x}{d\,t} = w,$$ also $$\frac{d\,x}{d\beta} = w\,\frac{d\,t}{d\,\beta} = \frac{w\,a}{v} = \frac{Q\,a\,r\,b\,L}{2\,v^2\,U}(1 - \sin\beta - \cos\beta),$$

und hieraus folgt:

$$x = \frac{Q\,a\,r\,b\,L}{2\,v^2\,U}\left(\beta + \cos\beta - \sin\beta - \frac{\pi}{4}\right),$$ wenn wir annehmen, daß

$x = 0$ ist, wenn die ablenkende Kraft verschwindet, also für $\beta = 45^0$. Für $\beta = 0$ ist $x = \frac{QarbL}{2v^2U}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right) = 0{,}1073\,\frac{QarbL}{Uv^2}$, und für $\beta = 90^0$ ist $x = - 0{,}1073\,\frac{QarbL}{Uv^2}$. Bei der ersten Vierteldrehung würde also der Wagen (wenn die Spurkränze nicht hinderten) nach rechts und nach links um diese Länge ausweichen und das Verhältniß dieser Ausweichung zur Länge der Fortschreitung wäre: $0{,}1073\,\frac{QarbL}{Uv^2} : a\frac{\pi}{2} = 0{,}0683\,\frac{QrbL}{Uv^2}$.

Bezeichnet G das Gewicht der Locomotive, so können wir annähernd setzen:
$U = \frac{1}{3}\frac{GL^2}{g}$, wobei g die Beschleunigung der Schwere bezeichnet; unsere Verhältnißzahl ist alsdann: $6{,}4\,\frac{Qrb}{GLv^2}$. Die mittlere Zugkraft $\frac{4Qr}{a\pi}$, darf nicht größer werden als $\frac{1}{6}$ der Treibräderbelastung, und setzen wir diese gleich $\frac{3}{5}$ des Locomotivengewichts, so ist etwa $\frac{4Qr}{a\pi} = \frac{1}{10}$ G, also $\frac{Qr}{G} = \frac{a\pi}{40}$. Hiernach geht unsere Verhältnißzahl über in die Form: $0{,}5\,\frac{ab}{Lv^2}$; und das Maximum der Ablenkung von der geraden Bahn wird sein:

$x = 0{,}785\,\frac{a^2b}{Lv^2}$. Für $a = 3$, $b = 6$, $L = 9$ und $v = 20$ ist $x = 0{,}0118'$ oder etwa $^1/_7$ Zoll.

Bewegt sich nun die in diesem Beispiele gedachte Locomotive auf einem festen Wege frei, ohne Spurkränze, so würde sie in der Secunde etwa eine Umdrehung der Treibräder haben und von der geraden Linie vier Mal nach rechts und eben so oft Mal nach links um etwa $^1/_7$ Zoll abgewichen sein; wäre ihre Geschwindigkeit doppelt so groß, so betrüge ihre Ablenkung von der geraden Linie 4 Mal weniger, also etwa $^1/_{28}$ Zoll. Die bei mäßiger und schneller Bewegung der Locomotive hervorgebrachte Seitenbewegung bleibt also immer noch geringer als der Spielraum, den die Räder zwischen den Schienen haben, und wird somit nicht einmal bewirken, daß die Spurkränze an die Schienen gedrückt würden.

Da die beiden Kräfte S, — S im entgegengesetzten Sinne auf die Umdrehung der beiden Treibräder wirken, bewirken sie zugleich eine Torsion der Drehaxe, deren Moment $= 2\,Sa = \frac{Qrb}{s}(\sin\beta - \cos\beta)$ ist.

Diese Formel, so wie die nächst vorhergehenden und auch noch einige folgende, welche sich auf seitliche Störungen in der Bewegung des Locomotivkörpers beziehen, enthalten Werthe, die proportional mit der Entfernung b der beiden Kurbelebenen von einander sind.

Je kleiner b genommen werden kann, desto kleiner werden auch diese

Störungen, woraus dann folgt, daß es für die Stabilität der Locomotive von Vortheil ist, wenn die Cylinder innerhalb der Räder angebracht sind. Dennoch giebt man diesen Vortheil gern auf, da durch außenliegende Cylinder andere, größere Bequemlichkeiten gewonnen werden.

Das Verhalten der Mittelkraft V und des Kräftepaares (T, — T) läßt sich jetzt sehr leicht übersehen, wenn man sich aus den oben aufgestellten Formeln überzeugt, daß die Kräfte V_1 und V_2 stets proportional mit P_1 und P_2 verlaufen, so daß wir in der eben dargestellten Betrachtung überall nur d an die Stelle von a zu setzen haben, um sofort Werthe zu erhalten, die sich auf V und T beziehen. So wird der veränderliche Druck V, mit welchem beide Treibräder durch die Dampfwirkung gegen die Schienen gedrückt werden, dieselben Perioden durchlaufen, wie sie oben für die Zugkraft P berechnet sind, und der mittlere additionelle Druck V wird den Werth $\frac{4\,Q\,r}{d\,\pi}$ haben. Setzen wir wieder wie oben $\frac{4\,Q\,r}{\pi} = \frac{a}{10}\,G$, wenn G das Gewicht der Locomotive bezeichnet, so ist der mittlere additionelle Druck $= \frac{a}{10\,d}\,G$, und da die natürliche Belastung der Treibräder zu $\frac{3}{5}\,G$ angenommen ist, so folgt für den additionellen Druck der relative Werth $\frac{a}{6\,d}$. Setzen wir a = 3′ und d = 9′, so wäre dieser Werth $= \frac{1}{18}$, d. h. durch die Dampfwirkung wird der Druck der Treibräder gegen die Schienen um $\frac{1}{18}$ des bereits vorhandenen Gewichtsdrucks vermehrt. Obwohl durch diese Druckvermehrung auch die Adhärenz der Treibräder gegen die Schienen vermehrt wird, und damit die Möglichkeit gegeben wäre, die Zugkraft der Locomotive noch etwas zu steigern, so hat doch dieser Werth keine praktische Bedeutung, weil doch dafür gesorgt sein muß, daß die Adhärenz gegen die Schienen noch größer bleibe als die Zugkraft. Außerdem würde sich bei gekoppelten Rädern dieser Gewinn wieder aufheben, weil der Druck der vorderen Treibräder gegen die Schienen eben so viel verliert als der der hinteren gewinnt.

Noch weniger hat das Gegenpaar (T, — T) einen merkbaren Einfluß auf die Bewegung der Locomotive. Denn wenn auch diese Kräfte T, — T wirklich vorhanden sind, welche die Locomotive abwechselnd nach rechts und nach links umstürzen wollen, so bleiben sie doch in Vergleich gegen die wirkliche Belastung der Räder so klein, daß an eine Störung im Gleichgewicht der Bewegnng nicht gedacht werden kann. Nur in sofern die Schienen von Strecke zu Strecke als hohl liegend und als elastisch angesehen werden, bleibt ein fast verschwindend kleines Schwanken der Locomotive denkbar.

Eine andere Gruppe von Störungen als die bisher betrachteten, erleidet die Locomotive durch den Umstand, daß einige ihrer Bestandtheile, wie Kolben, Kolbenstange, Treibstange und Räder sich gegen die übrigen Theile, die im ruhigen Verband bleiben, bewegen. Während Kolben, Kolbenstange und Treibstange vorwärts bewegt werden, haben sie in der ersten Hälfte des Hubes eine beschleunigte Bewegung und nehmen deshalb einen Theil der Arbeit der Zugkraft in sich

auf, in der zweiten Hälfte des Hubes hingegen haben sie eine verzögerte Bewegung und geben die vorher aufgenommene Arbeit wieder ab; daher folgt, daß die wirklichen Werthe der Zugkraft P_1 und P_2 für die ersten Hälften der Hube etwas kleiner und für die zweiten Hälften etwas größer sind als die oben berechneten, so also, daß für den ersten und dritten Quadranten von βP_1 etwas kleiner und P_2 etwas größer sein wird, und umgekehrt für die zweiten und vierten Quadranten. Der oben berechnete Verlauf der Zugkraft P wird also durch diese Einwirkung um ein Geringes modificirt, und zwar um ein sehr Geringes, um so mehr als die Masse des Kolbens, der Kolben- und Treibstange gegen die Gesammtmasse des zu bewegenden Zuges nur sehr klein ist.

Die Centrifugalitäten der an der Locomotive rotirenden Massen heben sich dann auf, wenn der rotirende Körper in Bezug auf seinen Drehungsmittelpunkt symmetrisch ist; dies findet bei den Laufrädern statt, aber nicht bei den Treibrädern, hier bewirken die Kurbelwarze und die Treibstange eine einseitige Centrifugalität, die zunächst nachtheilig auf die Arenschenkel und Zapfenlager, dann aber auch auf die Stabilität der Locomotive wirken würde, wenn man sie nicht ausgleichen könnte. Bezeichnen wir mit M_1 die auf ihren Mittelpunkt reducirte Masse der Kurbelwarze, und mit M_2 die auf ihren Schwerpunkt reducirte Masse der Treibstange, und l_1 die Entfernung dieses Schwerpunktes vom Kolbenstangenende. Ist ferner w die Winkelgeschwindigkeit des Treibrades und g die Beschleunigung der Schwerkraft, so ist die Centrifugalität der Kurbelwarze $= \frac{M_1 r w^2}{g}$, die Centrifugalität der Treibstange in ihrem Schwerpunkte $= \frac{M_2 r l_1 w^2}{g l}$; dieselbe reducirt auf den Mittelpunkt der Kurbelwarze beträgt $\frac{M_2 r l_1^2 w^2}{g l^2}$, also ist die einseitige Centrifugalität jedes Treibrades

$$\frac{r (M_1 l^2 + M_2 l_1^2) w^2}{g l^2}.$$

Diese einseitige Centrifugalität kann dadurch aufgehoben werden, daß man am Treibrade der Kurbelwarze gegenüber in der Entfernung ϱ vom Mittelpunkt des Rades eine schwere Masse X anbringt, so daß die Centrifugalität derselben $\frac{X \varrho w^2}{g}$ der obigen Centrifugalität aufhebend entgegen wirkt. Hieraus folgt nun

$$X = \frac{r (M_1 l^2 + M_2 l_1^2)}{\varrho l^2}.$$

Beträgt das Gewicht M_1 der Kurbelwarze 100 Pfund, das der Treibstange 240 Pfd., ist der Kurbelradius $r = 1'$, die Länge der Treibstange $l = 5'$, ist ihr Schwerpunkt vom Kolbenstangenende um $l_1 = 3'$ entfernt und will man das Gegengewicht so anbringen, daß der Schwerpunkt desselben um $2^1/_2{}'$ von dem Randmittelpunkte entfernt liegt, so muß dasselbe schwer sein

$$\frac{1 (100 . 5^2 + 240 . 3^2)}{2^1/_2 . 5^2} = 72^{24}/_{25} \text{ Pfund}.$$

Literatur. Die wichtigsten hierher gehörenden Werke sind:

Guide de mécanicien, constructeur et conducteur des machines locomotives par M. M. Lechatelier, Flachat, Petiet et Polonceau, Paris 1851, aus dem die oben mitgetheilte Tafel über die Dimensionen einiger Locomotiven herrührt. Etudes sur la stabilité des machines locomotives, par Lechatelier, Paris 1849. Theorie de la stabilité des machines locomotives en mouvement, par Yvon Villarceau, 1852. In den Annales des Mines. Cinquième Serie. Tome III., 1853. Note sur la stabilité des machines locomotives, par Resal und des contrepoids appliqués aux roues motrices des machines locomotives, par Couche. Publication industrielle des machines outils et appareils, par M. Armengand. Tome VII. 1851. Pambour's Werk Traité théorique et practique des machines locomotives, Paris 1840, deutsch Braunschweig 1841, ist veraltet. Unter den deutschen Werken sind zu nennen; Handbuch der Dampfmaschinenlehre v. Bernoulli, 4. Aufl. Stuttgart, 1854. Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinenmechanik, v. Weisbach, Bd. III., Braunschweig 1855. Desselben Verfassers Abhandlung: Die Mechanik des Dampfwagens, im Civil-Ingenieur, Bd. II. — Abbildung und Beschreibung der Locomotivmaschinen, von E. Heusinger von Waldegge, Wiesbaden 1851 — 1854; so wie dessen Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. Portfolio John Cockerill's, v. M. M. Freiherrn von Weber. Brüssel, Leipzig 1855. W. S.

Lösung. Im I. Bd. S. 568 (Art. Auflösung) scheint man die Unterscheidung, welche ältere Chemiker zwischen Auflösung und Lösung machten, aufrecht erhalten zu haben. Hiernach nannte man Lösung den Vorgang, wo eben nur eine Trennung des Zusammenhanges bei dem aufgelösten Körper stattfindet, wie z. B. bei der Lösung eines Salzes in Wasser, Auflösung dagegen denjenigen, wo gleichzeitig eine Wahlanziehung mit auftritt, wie z. B. beim Auflösen von Natron in wasserhaltiger Chlorwasserstoffsäure. Als Unterscheidungszeichen gab man auch an, daß man bei ersterer den aufgelösten Körper sehr leicht wieder mit seinen ursprünglichen Eigenschaften abscheiden könne, so z. B. aus den Lösungen in Wasser durch Abkühlen oder Verdunsten des Lösungsmittels, oder bei Auflösungen in Weingeist durch Zusatz von Wasser ꝛc., während dies bei den sogenannten Auflösungen nicht möglich sei. Bei dem angeführten Beispiel würden wir auf die angegebene Art nicht Natron, sondern Chlornatrium erhalten. Oder mit anderen Worten: in der Lösung bleibt der gelöste Körper als solcher enthalten, während dies bei der Auflösung nicht der Fall ist.

Diese Unterscheidung fand dadurch Eingang, daß man versuchte sich Rechenschaft von diesem Vorgange abzulegen. Man fragte sich, wie man sich ihn zu denken habe und ob derselbe verschieden sei von dem einer chemischen Verbindung. In neuerer Zeit aber hat man sie ganz aufgegeben, weil es in vielen Fällen sich nicht entscheiden läßt, ob hier eine Lösung oder Auflösung vorliegt. Ins Reine hat man diese Frage jedoch noch nicht gebracht; und namentlich in neuerer Zeit hat man es weniger versucht als früher.

Eine bloße mechanische Vertheilung eines Körpers in einer Flüssigkeit kann man eine Lösung nicht nennen, da Gay-Lussac *) gefunden hat, daß Salz-

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XI. p. 306.

lösungen, die in hohen, senkrecht gestellten Glasröhren sechs Monate lang aufbewahrt worden waren, genau denselben Gehalt in den oberen und unteren Schichten zeigten. Wären die Salztheilchen einfach nur mechanisch fein zertheilt in dem Lösungsmittel, also dem Gesetz der Schwere unterworfen gewesen, so wäre die vorstehende Thatsache unmöglich. Man kann ferner nicht sagen, daß bei der einfachen Lösung die chemische Verwandtschaft durchaus nicht mit ins Spiel käme, denn ein Jeder weiß, daß man nicht einen jeden Körper in jeder beliebigen Flüssigkeit auflösen kann. Es tritt hier auch eine Art von Gesetz auf. So lösen sich z. B. die Sauerstoffsalze in Wasser, das gleichfalls Sauerstoff enthält, Metalle aber nur in einem Metall (dem Quecksilber), Verbindungen, die reich an Wasserstoff sind, wie z. B. Oele, Fette, Harze, wiederum nur in ähnlichen Flüssigkeiten, die ätherischen Oele und viele organische Stoffe in Alkohol und Aether, während letztere weniger befähigt sind, die Sauerstoffsalze aufzulösen. Aber eben diese Verhältnisse bedingen auch wieder einen wesentlichen Unterschied mit der eigentlich sogenannten chemischen Verwandtschaft; letztere tritt am stärksten auf, wenn die Körper sich in ihren Eigenschaften am unähnlichsten sind, während bei der Lösung das Gegentheil stattfindet. Hierin nähert sich die Kraft, durch welche die Lösung bedingt wird, wieder mehr der Cohäsionskraft. Diese spielt überhaupt bei dem Zustandekommen einer Lösung eine große Rolle. So lösen sich z. B. diejenigen Salze in größter Menge auf, deren Cohäsion durch die Wärme am leichtesten überwunden wird. Die Cohäsion ist es auch, welche zuletzt der Auflöslichkeit eines Körpers oder vielmehr der auflösenden Kraft der Flüssigkeit eine Grenze setzt. Je mehr letztere von einem Körper aufgenommen hat, um so langsamer nimmt sie weitere Theilchen in sich auf, bis sie sich endlich damit gesättigt hat, d. h. die Cohäsion des festen Körpers nicht mehr zu überwältigen vermag. Bei flüssigen Körpern ist daher diese Grenze nicht gesetzt; Alkohol, Schwefelsäure 2c. lösen sich in jedem Verhältniß im Wasser auf.

Für das Auftreten wirklich chemischer Kräfte bei der einfachen Lösung spricht ferner der Umstand, daß die Dichtigkeit der Lösungen *) größer ist als das Mittel aus den Dichtigkeiten der einzelnen Bestandtheile. Zwar ist auch der Kochpunkt einer Lösung **), der nicht von der größeren oder geringeren Menge der gelösten Substanz, sondern von der Anziehung derselben zum Lösungsmittel abhängt ***), immer höher als der des Lösungsmittels, jedoch bleibt dieser bei anhaltendem Sieden, weil von dem einen Bestandtheil mehr fortgeht als von dem anderen, nicht constant, wie dies bei wirklich chemischen Verbindungen der Fall ist, so fern sich nicht der Luftdruck ändert. Wie schwer es aber hält, hier eine scharfe Grenze zu ziehen, zeigt wiederum der Umstand, daß es allerdings sogenannte Lösungen giebt, wie z. B. gewisse Säuren und Alkohol bei einem bestimmten Wassergehalt, der keinesweges bestimmten atomistischen Verhältnissen entspricht, die allerdings ihren Siedepunkt nicht verändern. Eben so giebt es auch auf der anderen Seite wieder einige chemische Verbindungen, die sich in dem einen oder dem anderen Punkte wiederum ganz wie Lösungen verhalten. Man thut daher am Besten die Lösungen

---

*) Pogg. Ann. Bd. XII. S. 477. Liebig's Ann. Bd. XXVIII. S. 145.

**) Pogg. Ann. Bd. II. S. 227. Liebig's Ann. Bd. XVII. S. 29.

***) So kochen z. B. eine Lösung von 70 Proc. Zucker in Wasser, die am Aräometer 23° R. zeigt, und eine von 33 Proc. Chlornatrium, die nur 20° zeigt, beide bei 105° C.

gleichsam als Uebergangs- oder Vermittelungsstufe zwischen die mechanischen Gemenge und chemischen Verbindungen hinzustellen und als Hauptunterschied eben die schwankenden Verhältnisse der einzelnen Bestandtheile anzunehmen. Man kann sagen, daß hier eine Verbindung in unbestimmten Verhältnissen stattfinde, denn eben so wie sich eine gewisse Menge eines Körpers in einer beliebig großen Menge Wasser auflöst, löst auch eine gewisse Menge Wasser eine beliebig große Menge dieses Körpers auf, vorausgesetzt, daß letztere geringer ist als die, durch welche das Wasser gesättigt wird *).

Die Umstände, welche auf die Löslichkeit einer Substanz Einfluß haben, sind bereits Bd. I. S. 568 angeführt worden. Die gründlichsten Untersuchungen hierüber verdanken wir Gay-Lussac **).

In neuester Zeit hat Kremers eine Arbeit geliefert über den Zusammenhang des specifischen Gewichtes chemischer Verbindungen mit ihrer Auflöslichkeit in Wasser ***) und in einer zweiten hat er es versucht die relative Löslichkeit der Salze aus ihrer Constitution abzuleiten ****). Neben den von ihm selbst angestellten Löslichkeitsbestimmungen hat er auch die anderer Forscher zur Construction von Curven benutzt, auf welche Art man am besten die verschiedene Löslichkeit der Salze bei verschiedenen Temperaturen übersichtlich darstellen kann.

Zuweilen vermag eine Salzlösung von einem anderen Salze mehr aufzulösen als das reine Wasser; dies ist z. B. beim Salpeter der Fall, dessen Auflöslichkeit in einer Lösung von Kochsalz oder salpetersaurem Kalk bedeutend größer ist; eben so wird die Auflöslichkeit des Kochsalzes in Wasser durch einen Zusatz von Alaun oder Gyps gesteigert. Diese Verhältnisse, die wahrscheinlich durch die Bildung von Doppelsalzen bedingt werden, sind für die Praxis von Wichtigkeit und verdienen deshalb genauer untersucht zu werden. Setzt man zu einer Lösung einen Körper, der in dem Lösungsmittel leichter löslich ist als der bereits darin enthaltene Körper, so wird diesem durch jenen ein Theil des Lösungsmittels entzogen und er scheidet sich aus. So fällt z. B. Chlorbaryum aus seiner Lösung durch Zusatz von Salzsäure nieder, viele Salze durch Alkohol und die Harze aus ihrer Lösung in Alkohol wiederum durch Zusatz von Wasser. Sättigt man Wasser mit zwei Salzen, die nicht zersetzend auf einander wirken, vollständig, so daß noch ein Ueberschuß beider ungelöst bleibt, so finden sich beide Salze in der gesättigten Lösung bei derselben Temperatur stets in demselben Verhältniß. Man hat also hier eine Art von constanten Mischungsgewichten, die aber durchaus von der Temperatur abhängig sind und sich dadurch wesentlich von den Aequivalenten der chemischen Verbindungen unterscheiden *****). Dasselbe findet auch statt bei drei und mehreren Salzen.

Eine gesättigte Lösung setzt im Allgemeinen, wenn sie sich abkühlt, einen

*) Gilbert's Ann. Bd. XI. S. 175, Bd. XXV. S. 140 u. 270, Bd. XXX. S. 12, Bd. XXXIX. S. 366 u. Bd. XLVII. S. 28. Liebig's Ann. Bd. XXIII. S. 80. Journ. f. prakt. Chem. Bd. V. S. 66.

**) Ann. de Chim. et de Phys. T. XI. p. 296.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 37 und 216.

****) Pogg Ann. Bd. XCII. S. 497.

*****) Karsten: Journ. f. prakt. Chemie. Bd. XXII. S. 247 u. 367. Man vergleiche hiermit die Angaben von Kopp, Liebig's Ann. Bd. XXXIV. S. 260.

Theil des aufgelösten Salzes in Krystallen ab, da eben die Menge des Salzes, welche das Wasser aufzulösen vermag, von der Temperatur abhängt. Nun aber können wir unter Umständen eine gesättigte Lösung erkalten lassen und doch bleibt die ganze Menge des Salzes in Auflösung. Eine solche Lösung nennt man in Beziehung darauf, daß sie eine Lösung von viel größerer Concentration bildet als eine unter gewöhnlichen Umständen erkaltete, **übersättigt**. Diese interessante Erscheinung ist bereits früher von verschiedenen Forschern untersucht worden, namentlich von Gay-Lussac, Zig, Ogden und Thénard *). Die von diesen gefundenen Thatsachen waren aber bereits fast in Vergessenheit gerathen, als Loewel, Chemiker in Munster (Frankreich) **) von Neuem die Aufmerksamkeit darauf lenkte. Am besten operirt man mit einer Glaubersalzlösung, die bei 33° C. gesättigt worden ist, weil bei dieser Wärme das Wasser die größte Menge davon aufzunehmen vermag. Läßt man sie in einem verschlossenen Gefäße ruhig erkalten, so bleibt alles Salz in Auflösung; es scheidet sich aber und zwar unter bedeutender Wärmeentwickelung aus, sobald man das Gefäß öffnet. Eine solche Lösung ist am Besten mit Wasser zu vergleichen, das unter 0° abgekühlt worden ist und nun bei der geringsten Erschütterung die gebundene Wärme abgiebt und krystallisirt, d. h. gefriert. Das Gleiche tritt ein, wenn man in eine solche Lösung einen Krystall bringt; daher kommt es auch, daß bei einer langsamen oder freiwilligen Verdunstung einer Lösung die Krystalle oft nicht an der Oberfläche entstehen, obgleich hier doch die Entziehung des Wassers statt hat, sondern daß die Ausscheidung des Salzes durch einen bereits am Boden liegenden Krystall bewirkt wird. Durch die anziehende Wirkung, welche dieser Krystall auf die Salztheilchen in der Lösung ausübt, führt der letztere aus dem Zustande der Uebersättigung in den der Sättigung zurück. Hierbei bilden sich nicht neue Krystalle, sondern der Krystall, welcher die Ausscheidung bedingt, vergrößert sich.

Löwel schmolz eine übersättigte Glaubersalzlösung in Röhren von 18mm Durchmesser ein. Die eine Röhre enthielt nur die Lösung, in eine zweite that er scharfkantige Glasstücke und in eine dritte einige Stücke Platindraht. Selbst nach monatelangem Aufbewahren bei einer Temperatur von + 15 bis 20° C. war keine Krystallisation zu bemerken und eben so wenig trat beim heftigsten Schütteln irgend eine Ausscheidung ein. Dadurch hat er bewiesen, daß das Erstarren einer übersättigten Glaubersalzlösung vollkommen unabhängig ist von mechanischer Erschütterung und von der Zeit. Kühlte er die Röhren bis auf 6 oder 7° C. ab, so trat eine in allen 3 Röhren nicht merklich verschiedene Krystallisation ein, die zwar mit der Erniedrigung der Temperatur zunahm, aber doch nicht in einem solchen Grade, daß die Auflösung aufgehört hätte, eine übersättigte zu sein. Uebrigens verschwand die Ausscheidung wieder, sobald die Röhren auf die frühere Temperatur von 20° gebracht wurden. Oeffnete er die Röhren, so krystallisirte die abgegossene Mutterlauge sogleich zu dem gewöhnlichen schwefelsauren Natron ($NaO, SO^3 + 10 HO$), während die ausgeschiedenen Krystalle nur 7 Atome HO enthalten und nicht 8 Atome, wie es früher Faraday und Zig ***) angegeben hatten. Diese werden beim Berühren mit einem Glasstabe und zwar von dem

*) Gmelin's Handbuch der Chemie. Bd. I. S. 11.
**) Compt. rend. T. XXX. p. 164 u. T. XXXII. p. 907.
***) Gmelin's Handbuch der Chemie. Bd. II. S. 100.

Punkt aus, wo die Berührung stattfand, undurchsichtig; dasselbe tritt auch nach einiger Zeit beim bloßen Liegen an der Luft ein.

Die Lösungen des Salzes $NaO . SO^3 + 7 HO$ lassen sich, lediglich durch eine Glasglocke von der Luft abgeschlossen oder in langen offenen Röhren von geringem Durchmesser, sehr lange im übersättigten Zustande erhalten. Wird die Glocke abgehoben, so tritt sogleich die Krystallisation ein und zwar die des gewöhnlichen Salzes. Durch bloße mechanische Erschütterung wird sie nicht bewirkt, eben so wenig durch einen galvanischen Strom, selbst wenn derselbe das Wasser zersetzt; wohl aber tritt sie sofort ein, wenn man einen Glaubersalzkrystall hineinbringt. Dieselbe wird ebenfalls rasch bewirkt, wenn man die Lösung mit einem Glas- oder Metallstab berührt, der längere Zeit der Luft ausgesetzt war. Merkwürdigerweise verlieren aber beide diese Wirkung gänzlich, wenn sie vorher geglüht oder sorgfältig mit destillirtem Wasser abgewaschen worden sind. Durch Liegen an der Luft erhalten sie aber in kurzer Zeit die Fähigkeit wieder die Krystallisation hervorzurufen, aber nicht sobald man sie durch einen Kork gesteckt in einem mit diesem verschlossenen Glase aufbewahrt, so daß sie also vom freien Luftwechsel ausgeschlossen sind. Ueber die Ursachen dieser merkwürdigen Erscheinungen giebt Loewel keine Deutung; er hält sie für Contactwirkungen.

Die Temperaturerhöhung bei der Krystallisation von übersättigten Lösungen, so wie bei der Umwandlung des festen Salzes $NaO . SO^3 + 7 HO$ in das gewöhnliche, ist sehr beträchtlich. Loewel beobachtete bei ersterer eine Erhöhung von 16°,25 auf 30° und bei letzterer von 13° auf 22°,5, ohne jedoch die geringste Elektricitätsentwickelung wahrzunehmen.

Außer bei dem schwefelsauren Natron kann man die merkwürdigen Eigenschaften der übersättigten Lösungen besonders bei dem selensauren, dem kohlensauren Natron und dem Alaun studiren; doch sind auch diese nicht die einzigen.

Nach Loewel versuchte es Goskinsky *) eine Theorie für die abnorme Krystallisation des Glaubersalzes aufzustellen. Als erste Ursache sieht er Luft an, welche noch nicht mit Feuchtigkeit gesättigt ist; sie nimmt von der ersten Schicht Wasser als Dampf in sich auf und bedingt dadurch das Beginnen der Ausscheidung an der Oberfläche der Flüssigkeit. Die hier ausgeschiedenen kleinen Krystalle bilden nun weitere Centra für die Anziehung der Krystallisationskraft und so schreitet die Krystallisation rasch durch die übrige Flüssigkeit fort. Später hat Lieben **), gestützt auf eine Reihe von Versuchen, eine andere eigenthümliche Erklärung für diese Erscheinung gegeben. Er meint nämlich, die Luft wirke auf die Lösungen nur durch den stets in ihr suspendirten Staub, indem er beim Oeffnen des Gefäßes, besonders aber beim Schütteln an der Luft, mit der Flüssigkeit in vielfache Berührung kommt und dadurch das Erstarren derselben einleitet. Er bringt nämlich an den Berührungsstellen die Moleeüle einander näher; es entstehen kleine Krystalle, die sich sogleich wie in einer Mutterlauge vergrößern, nur daß bei der außerordentlichen Concentration der Lösung dieses Anwachsen so rasch und vollständig vor sich geht, daß fast die ganze Flüssigkeit erstarrt. So erklärt sich denn auch auf einfache und naturgemäße Weise die wunderbare Wir-

*) Compt. rend. T. XXXII. p. 717.

**) Sitzungsb. d. Wien. Akad. Math. naturw Kl. Bd. XII. S. 771.

kung des Glasstabes oder eines jeden anderen Körpers, der an freier Luft liegt. Er ist nämlich mit einer Staubschicht bedeckt, die durch Adhäsion und Feuchtigkeit an seiner Oberfläche festgehalten wird, und dieser Staub ist es, der die beschriebene Wirkung auf die übersättigte Lösung ausübt. Wird er durch Glühen, da er organischer Natur ist, zerstört oder durch sorgfältiges Abwaschen entfernt, so hört natürlich auch die Wirkung auf, da eine Bewegung, die durch mechanische Einwirkung hervorgerufen ist, für sich allein, wie Bertholet glaubte, nicht im Stande ist, das plötzliche Erstarren einer übersättigten Lösung hervorzurufen. Lassen wir ihn anderseits auch nur kurze Zeit in der freien Luft liegen, so bedeckt er sich wieder mit einer Staubschicht und diese verleiht ihm die geraubte Kraft wieder. Hiermit tritt diese Erscheinung in den Bereich gewöhnlicher und bereits bekannter Kräfte. Es ist eine jener zahlreichen Wirkungen der gesteigerten Adhäsion, wie sie Körper in feiner Vertheilung hervorzurufen im Stande sind, und geeignet auf manche noch dunkle Thatsache ein erhellendes Licht zu werfen.

Die Beweise für diese einfache Erklärung finden wir darin, daß ein Glasstab, auf welche Art er auch von dem anhängenden Staube befreit worden war, eben keine Wirkung ausübte, während diese sofort wieder eintrat, wenn ein solcher Glasstab auf einer staubigen Glastafel hin und her gerollt worden war, sich also wieder mit Staub bedeckt hatte. Dasselbe war der Fall, wenn man Luft, die vorher auf das Sorgfältigste von dem darin enthaltenen Staube befreit worden war, durch eine übersättigte Lösung hindurchgehen ließ, während solche im natürlichen Zustande, wo sie also mit Staub beladen ist, schon nach wenigen Minuten das Festwerden der Lösung veranlaßt. Eben so wie der Staub leiten auch andere feinzertheilte Körper, z. B. Ruß, Platinmohr die Krystallisation augenblicklich ein. — Dieselbe Ansicht, welbe Lieben durch eine Reihe von Versuchen bewiesen hat, ist bereits früher schon von Heintz *) als sehr wahrscheinlich ausgesprochen worden.

Als Ursache des Bestehens der übersättigten Lösung sieht Lieben, eben so wie Loewel, den Uebergang des Salzes $NaO, SO^3 + 10\,HO$ in das Salz $NaO, SO^3 + 7\,HO$ an. Eine gesättigte Lösung von Glaubersalz setzt beim Erkalten darum keine Krystalle ab, weil der Theil des Salzes, der sich dadurch ausscheiden konnte, in das Salz $NaO, SO^3 + 7\,HO$ übergeht; das Wasser, das dadurch frei wird, dient nur zur Lösung dieses Salzes. Demnach existirt nicht einmal eine übersättigte Lösung, sondern nur eine Mischung der gesättigten Lösungen der Salze mit 10 und 7 Atomen Wasser. W. B.

Löthen, souder, soldering nennt man die in der Technik häufig vorkommende Operation, durch welche zwei Metallstücke durch Schmelzen eines leichter flüssigen oder auch desselben Metalles fest mit einander vereinigt werden. Das Metall, durch welches die Vereinigung bewirkt wird, nennt man das Loth, soudure. Die Hauptbedingung hierbei ist die, daß das Loth die Eigenschaft besitzen muß, mit den zu löthenden Metallen, wenigstens an deren Oberfläche, eine Legirung einzugehen, wodurch eben dies innige Anhaften des geschmolzenen Metalles bewirkt wird. Das Löthen hat ganz denselben Zweck beim Metallarbeiter, welchen der Holzarbeiter durch das Leimen erreicht; es gestattet unzählbare Arten der Vereinigung

*) Jahresb. d. naturw. Vereins zu Halle 1852. S. 49.

und die beliebigsten Formen der anzufertigenden Gegenstände herzustellen, sei es aus ein und demselben Metall, wobei aber die verschiedenen Theile auf verschiedene Art bearbeitet sein können, oder aus verschiedenen Metallen. Je nach den Metallstücken, die vereinigt werden sollen, ist aber auch das Loth ein verschiedenes.

Am häufigsten bedient man sich der Legirungen aus Zinn und Blei, die man ihrer leichten Schmelzbarkeit wegen Weich- oder Schnellloth, soudure tendre, soft soldering nennt. Je nach den Verhältnissen, in denen man diese Metalle zusammenschmilzt, kann man leichter oder schwerer schmelzbare Legirungen darstellen. Das schwache Schnellloth (2 Zinn und 1 Blei) schmilzt bei 171°, das Sicker- oder Sicherloth (63 Zinn und 37 Blei) bei 180° und das starke Schnellloth (1 Zinn und 2 Blei) bei 252°,5. Bei der Bereitung dieser Legirungen bedient sich der Arbeiter weder des reinen Zinnes noch einer Wage; beim Zusammenschmelzen des Bleies und bleihaltigen Zinnes taxirt er die Mengen nach Gutdünken. Die Praxis hat ihm Fingerzeige an die Hand gegeben, durch welche er die Tauglichkeit der Legirungen für den speciellen Zweck, freilich nach einigem Probiren, sicher erkennt. Nach Entfernung der Oxydhaut, die sich beim Schmelzen auf der Oberfläche gebildet hat, läßt er eine Probe rasch erkalten und beobachtet nun die Krystallisationserscheinungen (die Blumen), welche sich auf der Oberfläche zeigen. Heben sie sich recht scharf und glänzend von dem mattweißen Grunde ab, so ist die Legirung gerathen, wenn nicht, so muß noch mehr Zinn hinzugesetzt werden. Fehlt es auf der anderen Seite an Blei, so erkennt man dies an blasenförmigen Erhöhungen.

Das Schnellloth kommt besonders in Anwendung bei verzinntem Eisenblech, Zink, Messing, Blei und Zinn, überhaupt bei Gegenständen, welche wohl eine Vereinigung ihrer Theile, aber keine große Festigkeit erheischen oder auch bei Arbeitsstücken, die bei der großen Hitze, die zum Hartlöthen erforderlich ist, schmelzen oder an ihrer äußeren Bearbeitung Schaden leiden könnten; endlich auch in jenen Fällen, wo eine schnelle Vereinigung von Stücken, oft nur für vorübergehende Zwecke, zu bewerkstelligen ist. So findet z. B. das Weichlöthen auch dadurch in Werkstätten vielfache Anwendung, daß man mehrere Stücke durch Zinnloth vereinigt und sie alsdann entweder durch die Feile im Schraubstock oder auf der Drehbank mit einem Male der Genauigkeit und Schnelligkeit wegen bearbeitet und dieselben nach der Vollendung durch Erwärmen wieder trennt oder daß man Stücke, die abgedreht werden sollen, auf einem Futter der Drehbank weich auflöthet. Es lassen sich hierdurch die mannichfaltigsten Gegenstände schnell und fest aufspannen, das Stück wird bei einiger aufmerksamen Behandlung gut rund laufen und jede Bearbeitung auf der Drehbank sowohl äußerlich wie von innen leicht zulassen. Bei den großen Vortheilen, welche diese Methode liefert *), muß man sich sehr wundern, daß sie in vielen Werkstätten noch unbekannt ist, wenigstens keine Anwendung findet.

Durch einen Zusatz von $^1/_8$ bis $^1/_2$ seines Gewichtes an Wismuth zu dem Schnellloth erhält man Legirungen, die bei 160 und 240° schmelzen; sie sind jedoch sehr spröde. Noch mehr gilt dies von den sogenannten leichtflüssigen Legirungen, die man nur da verwenden kann, wo die gelötheten Stellen nicht besonders großen Widerstand zu leisten haben.

---

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIII. S. 8.

Mannichfaltiger sind die Legirungen zu den harten Löthungen, soudure forte ou brasure, hard soldering or brazing. Sie finden bei solchen Gegenständen Verwendung, welche eine bedeutende Festigkeit erlangen sollen, dem Hämmern oder Biegen unterworfen werden, oder welche beim Gebrauche einem höheren Wärmegrade ausgesetzt sind, der aber natürlich nicht bis zur Schmelzbarkeit des Lothes reichen darf. Bei Eisen, Kupfer und Messing nimmt man am häufigsten das sogenannte Schlagloth, d. h. Messing, dem noch Zink zugesetzt worden ist. Sie werden jedes für sich geschmolzen und dann das Zink dem Messing unter fleißigem Umrühren beigemischt. Man gießt das Ganze über einen Besen in Wasser, um die Legirung zu körnen. Je größer der Zinkzusatz ist, um so leichter schmilzt die Legirung; aber in demselben Maße nimmt auch die Sprödigkeit zu, die Zähigkeit und Hämmerbarkeit nimmt hingegen ab und eben so verliert auch die Farbe an Schönheit. Letzterem hilft man ab durch einen Zusatz von Zinn und zwar von 2 Th. auf 18 Th. Messing und 3 Th. Zink oder von 3 Th. auf 12 Th. Messing und 4 Th. Zink oder von 1 Th. auf 16 Th. Zink und 16 Th. Kupfer. Gewöhnlich bereitet man das Schlagloth für Messing aus 2 bis 3 Th. Messing und 1 Th. Zink und für Kupfer und Eisen aus 7 Th. Messing und 1 Th. Zink. Man verfertigt sich jedoch Schlagloth von verschiedener Schmelzbarkeit, um bei Gegenständen, welche mehreren Löthungen unterworfen werden müssen, beim nachfolgenden Löthen die schon gelötheten Stellen oder den Gegenstand selbst nicht zu gefährden und in Rücksicht auf das strengflüssigere nennt man auch hier das leichtflüssigere Schnellloth. Bei gehöriger Gewandtheit kann man aber auch Gegenstände mehrere Male mit einem und demselben Schlaglothe löthen, besonders wenn man die schon gelötheten Stellen durch Bestreichen mit Lehm schützt. — Eisen löthet man auch durch reines Zinn, wenn die gelöthete Stelle nicht wieder erhitzt wird. Dem Löthen geht dann ein Verzinnen der Flächen voraus. Beim Kupfer und Messing bedient man sich auch des sogenannten Silberlothes, einer Legirung aus 5 Th. Silber, 6 Th. Messing und 2 Th. Zink. 100 Th. Kupfer mit 25,20 oder 16 bis 18 Th. Blei geben gleichfalls ein gutes Loth von der Farbe des Kupfers. Um Silber zu löthen schmilzt man feines Silber mit Messing zusammen im Verhältniß von 4 : 3 oder 2 : 1 (hartes Silberschlagloth). Eine leichter flüssige Legirung bereitet man aus 12löthigem Silber und Zink (7 : 1 oder 16 : 3). Ein Zusatz von Zink bewirkt auch bei Neusilber dasselbe; einer solchen Legirung bedient man sich beim Löthen des Neusilbers.

Gold löthet man mit einer Legirung von Gold und Silber, Gold und Kupfer oder aller drei Metalle. Man muß aber hierbei darauf Rücksicht nehmen, daß das Gold um so leichter schmilzt, je stärker es legirt ist. Ein von den Goldarbeitern wegen seiner großen Leichtflüssigkeit sehr gelobtes Goldschlagloth besteht aus 55 Th. Silber, 12 Th. Gold, 28 Th. Kupfer und 5 Th. Zink. Man schmilzt die drei ersten Metalle unter einer Decke und setzt, nachdem sich der Tiegel etwas abgekühlt hat, das Zink unter Umrühren zu, wobei man nicht verhindern kann, daß ein kleiner Theil des Zinks verbrennt. Man kann diese Legirung aber nicht anwenden, wenn die Waaren gefärbt werden sollen, weil sie dadurch schwarz wird. — Platin löthet man mit feinem Gold. — In Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXXIII. S. 236 findet man noch verschiedene andere Legirungen, deren man sich zum Löthen bedient, angegeben.

Beim Löthen muß man vor allen Dingen dafür sorgen, daß die Oberflächen

derjenigen Stellen, die vereinigt werden sollen, durchaus frei von Oxyd sind, da oxydirte Flächen das Loth nicht annehmen. Man reinigt sie daher vorher durch Abschaben oder auf irgend eine andere Weise. Aus demselben Grunde muß man daher auch dafür sorgen, daß sich während der Operation selbst nicht wieder Oxyd bildet. Man muß also die Luft, die sich mit dem erwärmten Material sehr leicht verbindet, abhalten und zwar um so sorgfältiger, je stärker das Metall erhitzt wird. Dies erreicht man auf verschiedene Weise. Die Schlosser umkleben gewöhnlich die Löthstellen, nachdem das Loth zwischengebracht ist, mit Lehm und erhitzen nach dem Trocknen desselben das Metall. Bei den Weichlothen streut man auch Colophonium auf, das nach dem Schmelzen auch theilweise verkohlt und dadurch reducirend wirkt. Durch aufgestreuten Salmiak wird das Oxyd gleichfalls beseitigt. Am besten ist das sogenannte Löthwasser, eine in der Wärme völlig gesättigte Auflösung von Zink in Salzsäure, der man auch noch Salmiak hinzusetzt. Am deutlichsten zeigt sich die energische Wirkung dieses Mittels, wenn man galvanoplastische Abformungen, z. B. von Holzschnitten auf der Rückseite mit leichtflüssigem Metall ausgießt, um ihnen die gehörige Festigkeit zu geben. Das geschmolzene Metall dringt mit der größten Leichtigkeit und Schnelle in alle Ecken und Vertiefungen ein; ohne das Löthwasser würde man sich vergebens bemühen ein gleiches Resultat zu erhalten. Da, wo die Löthungen auf der Außenseite nicht bemerkt werden sollen, muß man, besonders wenn die Farbe des Metalles durch das Loth verändert wird, mit dem Löthwasser höchst vorsichtig operiren; es verbreitet sich sehr leicht weiter und so weit geht dann auch das Loth. In einigen Fällen muß seine Anwendung, trotz des sicheren Erfolges, dennoch ganz vermieden werden, da es brechenerregend wirkt; so z. B. beim Verlöthen der Büchsen, in denen man Lebensmittel aufbewahrt.

Beim Hartlöthen wendet man zu gleichem Zweck Borax, Glaspulver oder ein Gemisch beider an. Beide bilden nach dem Schmelzen nicht allein einen schützenden Ueberzug, sondern sie lösen gleichzeitig auch das bereits vorhandene Oxyd auf. Das Glaspulver, das besonders bei sehr hohen Temperaturen zur Anwendung kommt, hat aber den Nachtheil, daß es wegen seiner Härte beim Entfernen von den gelötheten Stellen die Feilen sehr leicht stumpf macht.

Eben so schädlich, wie auf den Löthstellen ist das Oxyd auch auf dem Löthkolben, dem Instrument, durch welches das Löthen bewerkstelligt wird. Es ist dies ein an einem Eisenstabe befestigtes prismatisches Stück Kupfer; da das Eisen die Wärme sehr leicht leitet, versieht man den Stab mit einer Handhabe von Holz. Man erhitzt das Kupferstück zwischen Kohlen, wobei man aber ein Glühen vermeidet, weil sich dann sehr leicht eine dicke Oxydschicht erzeugen würde. Ganz kann man aber die Oxydation nicht vermeiden; ist die Oxydschicht bedeutend, so entfernt man sie an dem vorderen zugeschärften Ende, das zum Löthen bestimmt ist, durch Klopfen oder mittelst einer Feile und die letzten Reste durch Bestreichen mit Salmiak, worauf man sogleich diesen Theil verzinnt, wie der Arbeiter sagt, d. h. mit dem Loth überzieht, um eine neue Oxydation zu verhindern. Durch Hin- und Herfahren mit dem heißen Kolben auf dem Loth, das man zwischen die zu verbindenden Metallflächen gebracht hat, und auf diesen selbst bringt man das Loth zum Schmelzen und drückt nun die Flächen mit einem kalten Körper zusammen, bis das Loth wieder erstarrt und fest geworden ist. Löthkolben aus Kupfer sind denen aus Eisen vorzuziehen, weil letztere schlechtere Leiter der Wärme

sind und sich viel leichter oxydiren. Oft kommt es vor, daß die Gegenstände, welche gelöthet werden sollen, eine solche Form haben, daß man mit dem Löthkolben nicht zu den betreffenden Stellen gelangen kann. Hier hilft man sich auf die Art, daß man in eine Oeffnung desselben kupferne Stifte steckt.

Das Hartloth kann man durch bloßes Auflegen des Löthkolbens nicht schmelzen. Hier bedient man sich der Löthrohrflamme oder eines Gebläses (s. a. d. Art. Löthrohr und Gebläse). In den technischen Werkstätten Englands hat seit längerer Zeit zu diesem Zweck, so wie zum Löthen überhaupt, das gewöhnliche Leuchtgas eine nützliche und weit verbreitete Verwendung gefunden. Karmarsch beschreibt drei Methoden der Löthung mit Gas *). Für kleine Löthungen wendet man eine einfache Gasflamme an, die aus einem Brenner mit einer einzigen kleinen Oeffnung strömt und mittelst des Löthrohres eben so auf die Löthstelle getrieben wird, wie eine Kerzen- oder Oellampenflamme. Zu größeren harten Löthungen, z. B. bei Silber, Neusilber ꝛc. dient ein Apparat, der dem Princip seiner Wirkung nach mit dem ersten Verfahren übereinstimmt, aber bei weitem mehr Bequemlichkeit und zugleich die Möglichkeit gewährt, sehr ausgedehnte Fugen ungemein schnell zu löthen. Am Ende eines biegsamen Kautschuk-Schlauches, der das Gas zuführt, befindet sich ein Mundstück aus Messing oder Kupfer, welches die Gestalt eines Gießkannenkopfes hat und wie dieser auf seiner 2 Zoll im Durchmesser haltenden Kreisfläche mit einer Menge kleiner Löcher versehen ist. Ein Hahn am Gasrohre gestattet die Regulirung des Gaszuflusses; wenn derselbe ganz geöffnet ist, erzeugt sich eine sehr voluminöse Flamme. Dazu gehört ein zum Treten eingerichteter Blasbalg mit biegsamem Schlauche und messingenem Mundstücke, in welchem letzteren die Oeffnung höchstens eine Linie weit ist. Der aus diesem Mundstück hervortretende Luftstrom wird gleich dem eines Löthrohres in die Gasflamme geleitet, man lenkt dieselbe auf das Arbeitsstück und breitet sie nöthigen Falls über einen großen Raum aus. Legt der Arbeiter den Gasschlauch aus der Hand, so dreht er den Hahn desselben nicht ganz zu, sondern nur so weit, daß noch äußerst kleine Flämmchen am Mundstücke fortbrennen; er erspart hierdurch bei Wiederaufnahme der Löthsarbeit das Anzünden des Gases, indem er nur nöthig hat, durch Oeffnen des Hahnes die Flamme gehörig zu vergrößern.

Die großen Vorzüge dieser Methode vor dem bei uns gebräuchlichen Löthen im Kohlenfeuer liegen auf der Hand. Nicht allein, daß hierbei viel an Zeit und Geld erspart wird, da ein großer Theil der theueren Kohlen unbenutzt verbrennt, sondern die Arbeit ist auch viel reinlicher und leichter, weshalb sie in jedem beliebigen Arbeitsraume ausgeführt werden kann. Ferner kann man den Fortgang der Operation auf das Bequemste und Vollkommenste beobachten, also auch den Zeitpunkt, wo mit dem Erhitzen aufzuhören ist, ganz genau erkennen. Aber dennoch hat dieser Apparat die große Unvollkommenheit, daß hier wegen der beiden Schläuche zwei Hände beschäftigt sind, wodurch in manchen Fällen ein Gehülfe erforderlich wird; wenigstens wird die Bequemlichkeit des Arbeiters, der zudem noch den Blasbalg treten muß, bedeutend beeinträchtigt.

Daher verdient die dritte Methode mehr Beifall. Hier vereinigen sich beide Schläuche in einem eisernen oder messingenen Mundrohre von einem halben Zoll

*) Pharm. Chem. Centralbl. 1853. S. 43.

Oeffnung. An diesem Rohre wird das ausströmende Gemenge von Gas und Luft entzündet, während man ersteres in einer Hand hält und nach und nach über die Löthstelle fortführt. Das mit Draht gebundene Arbeitsstück wird auf einige todte Kohlen gelegt, welche sich auf einem runden, etwas vertieften, ungefähr 2 Fuß im Durchmesser haltenden Tische von Schwarzblech befinden. Dieser Tisch wird von einem hölzernen Bocke in etwa 4 Fuß Höhe über dem Fußboden getragen und läßt sich auf diesem, wie der Sitz eines Schreibstuhles, um seinen Mittelpunkt drehen.

Wegen der großen Vortheile, die das Löthen mit Leuchtgas darbietet, hat diese Methode auch bereits bei uns Eingang gefunden. So arbeitet man z. B. in der Bronzefabrik von Bernstorff und Eichwede in Hannover mit solchen Apparaten, die in ihrer Einrichtung dem zuletzt beschriebenen ähnlich sind. Die Röhre, welche die Luft zuführt, befindet sich innerhalb des Gasrohres, so daß die Luft also inmitten der Gasflamme ausgeblasen wird. Das Luftrohr ist verschiebbar und gestattet dem Arbeiter auf leichte Weise den Ausfluß des Gases zu reguliren. Zieht er nämlich das Luftrohr zurück, so vergrößert sich die Ausströmungsöffnung des Gases und umgekehrt. In sehr kurzer Zeit erlangt man die zum Schmelzen des Schlaglothes nöthige Hitze, bei kleineren Gegenständen in weniger als einer halben Minute. — Schon früher ist das Leuchtgas auch von Michiels *) und Elsner **) zum Löthen empfohlen und von diesen sind gleichfalls für diesen Zweck geeignete Apparate angegeben.

Früher schon wurde das Wasserstoffgas (das Knallgasgebläse) von Richemont benutzt ***), um zwei Metallstücke ohne Anwendung eines Lothes durch Schmelzung des Metalles an den zu vereinigenden Stellen zu verbinden. Es gelingt dies so gut, daß man die Vereinigungsstellen durch das Auge nicht auffinden kann. Ein Löthen im gewöhnlichen Sinne findet hier eigentlich nicht statt und deshalb ist auch die von Richemont für diese Art der Vereinigung gewählte Benennung Löthung durch sich selbst (soudure autogène, autogenous soldering) nicht passend; besser heißt es wohl Vereinigung durch sich selbst (autogenous junction). Diese Art der Löthung ist für die Technik von den weitgreifendsten Folgen geworden; dadurch wurde ein mächtiges Hinderniß aus dem Wege geräumt, welches dem Aufschwung fast der gesammten Industrie entgegenstand. Die Fabrikation einer der Hauptgrundlagen der heutigen Industrie, die Schwefelsäure, bedurfte Bleikammern und bleierne Abdampfpfannen von riesiger Größe; die Vitriol- und Alaunsiedereien, die Gold- und Silberscheidungsanstalten, die Stearinfabriken, so wie mancherlei andere Industriezweige forderten Siede- und Füllpfannen, Krystallisirständer, Botiche ꝛc. von Blei, d. h. Gefäße von allen Dimensionen und Formen, die den chemischen Agentien, mit denen man hier arbeitete, Widerstand leisteten. Manchem wird die Lösung dieser Frage sehr einfach erscheinen; aber das war sie keineswegs. Das gewöhnliche Loth war hier nicht zu gebrauchen; Blei und die als Loth dienende Legirung dehnen sich verschieden aus, ein Umstand, der sich namentlich bei sehr hohen und niederen Temperaturen sehr

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CIII. S. 284.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXVI. S. 288.
***) Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXIII. S. 76, Bd. LXXVII. S. 33, Bd. LXXXIV. S. 354, Bd. LXXXVII. S. 304.

störend bemerkbar machte. Dann wirkten auch gerade diejenigen chemischen Agentien, welche die Anwendung des Bleies forderten, zerstörend auf das Loth ein; desgleichen auch die unter gewissen Umständen durch die gegenseitige Berührung zweier verschiedenartiger Metalle auftretenden elektrischen Wirkungen. So sahen z. B. Vauquelin und d'Arcet die Löthung der mit Blei ausgefütterten Gefäße öfter in wenigen Tagen zu Pulver zerfallen; dasselbe zeigte sich auch oft an Bleiröhren, die sich in der Erde befanden. Das Gießen größerer Gefäße hat beim Blei besondere Schwierigkeiten und so blieb nichts anderes übrig als das Verfertigen aus einem Stück, das natürlich nur bei beschränkten Dimensionen zur Ausführung kommen konnte.

Jetzt sind alle diese Uebelstände beseitigt und dadurch hat das Blei eine große technische Wichtigkeit erlangt, da es keine Grenze mehr für die aus Blei zu arbeitenden Geräthe giebt. Auch die bedeutenden Unannehmlichkeiten, welche durch die große Geschmeidigkeit des Bleies, obgleich eine der schätzbarsten Eigenschaften desselben, gerade hier, wo es darauf ankam, daß die Geräthe einen großen Widerstand leisteten, eintraten, sind dadurch beseitigt. Man bekleidet jetzt Gefäße aus Eisen, Zink und selbst aus Holz in allen möglichen Formen im Inneren auf das Leichteste mit Blei.

Merkwürdig ist, daß die Alten wahrscheinlich schon die Kunst verstanden haben, mit Blei ohne Zinn zu löthen. Girardin hat nämlich gefunden, daß ein von ihm untersuchtes, wahrscheinlich aus der ersten Hälfte des dritten Jahrhunderts stammendes Loth, durch welches eine den Verband eines Aschenkruges bildende Bleiplatte festgehalten wurde, so wie auch der Boden des Kruges gelöthet war, nur aus Blei bestand.

Auch durch den galvanischen Strom bewirkt man die Vereinigung zweier Metallstücke durch dasselbe Metall *). Die praktischen und theoretischen Bedenken, welche sich der vielfach empfohlenen Löthung auf nassem Wege entgegenstellten, sind durch die Versuche von Elsner und Hackwitz als beseitigt anzusehen. Es findet hier ein so gleichartiges Zusammenwachsen statt, daß selbst durch die Loupe nichts entdeckt werden kann. Dieses Verfahren leistet oft da gute Dienste, wo die gewöhnliche Löthung sehr schwierig oder gar unthunlich ist. W. B.

Löthrohr, chalumeau, blowpipe, nennt man ein kleines, einfaches Instrument, dessen sich die Metallarbeiter bei kleineren Löthungen seit Jahrhunderten mit Vortheil bedient haben, um die Hitze einer Flamme zu verstärken. Es besteht aus einem ungefähr 240^{mm} langen conischen Rohre von Messing, das an dem einen Ende eine Weite von 7^{mm} und an dem anderen von 1 bis 1$^1/_2$^{mm} hat. Ungefähr 40^{mm} von dem letzteren entfernt ist es in einem rechten Winkel, jedoch ohne scharfe Ecke gebogen. Das dickere Ende steckt der Arbeiter in den Mund und das dünnere Ende richtet er gegen die Flamme, die er, indem er durch Blasen einen Luftstrom hineintreibt, bequem auf die zu löthenden Metallstücke leitet.

Im Laufe der Zeit aber hat dieses einfache Instrument eine ungleich größere Wichtigkeit für die Wissenschaft und das Leben erlangt. Es ist jetzt dem Chemiker, Mineralogen und namentlich dem Berg- und Hüttenmann ein unentbehrliches

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CV. S. 237, Bd. CVIII. S. 350 und Bd. CXV. S. 130.

Hülfsmittel. Ein schwedischer Bergrath, Anton von Schwab, war es zuerst, der die Wichtigkeit desselben bei der Untersuchung der Mineralien und Erze erkannte und sich desselben seit 1738 dabei bediente. Veröffentlicht wurde aber durch ihn hierüber nichts. Die erste Kenntniß von dem neuen Gebrauch des Löthrohres erhielt die gelehrte Welt erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts durch Engeström. Nicht er, sondern Cronstedt, ein schwedischer Bergmeister, hatte sich bei Aufstellung seines chemischen Mineralsystems des Löthrohrs bedient, um die Mineralien zu unterscheiden. Er hatte auch schon Gebrauch gemacht von den schmelzbaren Reagentien, durch deren Wirkungen er auf die chemische Zusammensetzung der Mineralien schloß. Der englischen Uebersetzung des Cronstedt'schen Mineralsystemes fügte Engelhardt ein eigenes Capitel über den Gebrauch des Löthrohres bei, das durch weitere Uebersetzungen in andere Sprachen bald allgemeiner bekannt und in den Gebrauch genommen wurde, so wenig es damals auch noch zu leisten vermochte. Um die Anwendung des Löthrohres zur Vollkommenheit zu bringen, dazu gehörte eine große Reihe von Versuchen, die eben nur erst im Laufe der Zeit konnten ausgeführt werden. Und dieser Ruhm gebührt Schweden allein. Alle die, welche mit dazu beigetragen haben, diese Methode der qualitativen Untersuchung auszubilden, gehören diesem Lande an.

Zuerst haben wir den Chemiker Bergmann zu nennen, der die Anwendung des Löthrohres bedeutend erweiterte und sich seiner auf dem ganzen Gebiete der anorganischen Chemie bediente. Seine Erfahrungen hierüber veröffentlichte er in lateinischer Sprache *). Schon ihm war es gelungen auf diese Weise sehr kleine Mengen von Mineral-Stoffen zu entdecken, deren Auffindung auf anderem Wege sehr schwierig war. Gahn baute das Angefangene zwar weiter fort, aber alle seine Erfahrungen würden verloren gegangen sein, wenn er nicht seinen Lieblingsschüler in dieser Kunst unterrichtet hätte. Dies war Berzelius und ein Geeigneterer zur endlichen Vollendung wäre wohl kaum aufzufinden gewesen. Durch ihn **) wurde das Löthrohr Gemeingut für die Wissenschaft und das Leben.

Aber auch selbst nach Berzelius war die Probirkunst mit dem Löthrohr noch einer weiteren Fortentwickelung fähig; bis dahin wurde das Löthrohr nur zu qualitativen Analysen verwendet. Harkort, ein Bergbeamteter zu Freiberg, schlug bald einen neuen Weg ein, indem er versuchte das Löthrohr auch zur quantitativen Bestimmung des Metallgehaltes in Erzen, Mineralien und Hüttenproducten zu verwenden. Bereits 1827 veröffentlichte er ***) eine Silberprobe. An einer weiteren Ausbildung dieses ganz neuen Zweiges der technischen Chemie wurde er durch seinen frühzeitigen Tod verhindert. Der von Harkort gegebene Anstoß blieb nicht ohne Folgen. Plattner, damals noch Probirer an der Königl. sächs. Halsbrückner Schmelzhütte bei Freiberg, der bereits unter Harkort's eigener Anleitung mehrere Silberproben ausgeführt hatte, fühlte sich veranlaßt dessen Ideen zur weiteren Ausführung zu bringen. Mit welchem Glücke

*) Comment. de tubo ferruminatorio ejusdemque usu in explorandis corporibus, praesertim mineralibus. Vindobonae 1779.

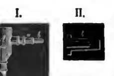
**) Anwendung des Löthrohrs in der Chemie und Mineralogie. 1821. 4. Aufl. 1844.

***) Die Probirkunst mit dem Löthrohre. 1. Heft: die Silberprobe. Freiberg, bei Graz und Gerlach 1827.

er dies vollführt hat, das zeigt seine Probirkunst mit dem Löthrohre, von der bereits 1853 die dritte Auflage erschienen ist. Die erste wurde 1835 veröffentlicht; neben der Silberprobe finden wir hier schon eine quantitative Bestimmung von Gold, Kupfer, Blei und Zinn; die zweite Auflage (1846) brachte die für den Berg- und Hüttenmann sehr wichtige Nickel- und Kobaltprobe und die dritte eine Wismuthprobe. Bei der quantitativen Bestimmung des Eisens muß man flüssige Reagentien mit in Anwendung bringen. Dadurch hat Plattner geleistet, was man vor ihm kaum für möglich hielt, und sich als einen Meister bewährt, dessen Werk mit Recht neben das classische von Berzelius gestellt werden kann und gleich bei seinem ersten Erscheinen die Beachtung Aller fand.

In der Form, wie das Löthrohr von den Metallarbeitern verwendet wird, konnte es für die Wissenschaft nicht benutzt werden. Die ausgeathmete Luft setzt nämlich in der Röhre Wasser ab, das sich hier ansammelt und zu Unbequemlichkeiten Veranlassung giebt, denen der Arbeiter dadurch entgeht, daß er bei seinen Verrichtungen überhaupt nur kurze Zeit, selten länger als eine Minute, bläst. Bei chemischen Untersuchungen aber muß das Blasen oft längere Zeit fortgesetzt werden und daher brachte schon Cronstedt in der Mitte der Röhre, dem gebogenen Ende etwas näher, eine Kugel an, um die Feuchtigkeit aufzunehmen. Im Wesentlichen hat noch heute das Löthrohr die Form, welche es durch Gahn erhalten hat (s. beistehende Fig. I.). In der Regel wird es von Messing, Argentan oder Silber angefertigt. A ist der Windkasten, in welchem sich von B aus die durch das Windrohr AB eingeblasene Luft ansammelt, um durch das Seitenrohr a und die daran befindliche Spitze b auszuströmen; zugleich aber dient er auch zur Aufnahme der sich ansammelnden Feuchtigkeit. Alle diese einzelnen Theile werden zusammengesteckt und durch Friction zusammengehalten. Die Spitze b besteht am zweckmäßigsten aus Platin, weil sie am leichtesten von den Rußtheilchen, die beim Gebrauch oft die Oeffnung verstopfen, gereinigt werden kann. Die innere Einrichtung wird durch die nebenstehende Durchschnittsfigur (s. Fig. II.) in einem vergrößerten Maßstabe deutlich. Sehr wichtig ist die Weite der Spitze. In der Regel hat man zwei Spitzen, von denen die eine 0,4ᵐᵐ und die andere 0,5ᵐᵐ weit gebohrt ist; das Auswechseln derselben geschieht mit großer Leichtigkeit.

I. II.



Die Länge des ganzen Instrumentes beträgt gewöhnlich 20ᵐᵐ; doch richtet sie sich nach den Augen des Arbeiters. Bei einem Kurzsichtigen ist sie daher geringer, bei einem Weitsichtigen größer. Beim Gebrauch umschließt man das Windrohr, nachdem man die Backen aufgebläht hat, bei B mit den Lippen und bläst nun die Luft ein. Die Mundhöhle vertritt hier den Gasometer, die Backenmuskeln dienen zum Austreiben der Luft, der Gaumen tritt an die Stelle des Ventiles und die Füllung des Gasbehälters muß durch die Nase stattfinden, da die Luft aus den Lungen wegen ihres bedeutenden Kohlensäuregehaltes zur Unter-

haltung der Verbrennung nicht geeignet ist. Man bedient sich hier auch nach dem Vorgange von Plattner eines Mundstückes aus Horn, das ganz die Form des bei der Trompete hat und beim Blasen gegen die Lippen gepreßt wird. Hier ist das Blasen weniger anstrengend; bei gehöriger Uebung ist man im Stande 5 bis 10 Minuten anhaltend zu blasen. Die anhaltende Uebung, die erforderlich ist, um zu dieser Fertigkeit im Blasen zu gelangen, schreckt Viele ab. Diese Schwierigkeit ist um so größer, als man durch Rathschläge und Anweisungen hier wenig helfen kann; ein Jeder muß die Sache mehr aus sich selbst lernen. Dies ist wohl der Hauptgrund, daß, ungeachtet der Vorzüge, welche diese Art der Untersuchung vor der auf nassem Wege in Bezug auf Zeit der Technik gewährt, wir das Löthrohr noch nicht in den Händen aller derer finden, welche sich seiner mit großem Nutzen bedienen könnten.

Namentlich für die quantitative Analyse wird ein sehr anhaltendes Blasen erfordert. Plattner empfiehlt daher in der ersten Auflage seiner Probirkunst S. 346 einen Blaseapparat, der eine große Erleichterung gewährt. Ohne daß man nöthig hat sich selbst anzustrengen, wird hier durch das Ausströmen von atmosphärischer Luft aus einem Gasometer eine anhaltende Flamme erzielt. Gewährt eine solche Vorrichtung auch manche Vortheile, so geht ihr doch die leichte und zweckmäßige Direction der Flamme, die man mit dem einfachen Löthrohr ganz nach Belieben ausführen kann, ab und daher achtet Jeder, der, wenn auch mit einiger Mühe, die Lehrzeit glücklich überstanden hat, das einfache Instrument höher als den complicirteren Apparat. In der dritten Auflage seines Werkes hat Plattner die Beschreibung des Blaseapparates auch ganz fortgelassen, weil er sich nicht in allen Fällen mit demselben Vortheil anwenden läßt als das gewöhnliche Löthrohr.

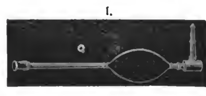
In neuerer Zeit hat man es wieder versucht Abhülfe zu schaffen. So ging mir durch Hoffmann und Eberhardt (Magazin für chemische, physikalische und pharmaceutische Geräthschaften, 42 Jägerstraße, Berlin) ein Löthrohr in einer neuen Construction zu, durch welche das beschwerliche Blasen mit dem Munde entbehrlich gemacht werden soll. Der Windkessel befindet sich hier an einem kleinen, schweren Stativ; vorn ist die Löthrohrspitze angebracht und ihr gegenüber ein Beutel aus Kautschuk. Seitwärts bringt man mittelst eines gekrümmten Rohres eine Kautschukellipse mit dem Windkessel in Verbindung. Drückt man diese mit der Hand, so füllt man den Beutel mit Luft und setzt man das Drücken fort, so bewirkt man dadurch eine ununterbrochene Luftausströmung aus der Löthrohrspitze, also eine stetige Flamme. Dieser kleine Apparat läßt sich sehr leicht mit einem Gasbehälter oder Gasentwickler verbinden und somit hat man Gelegenheit mit allen möglichen Gasen zu arbeiten.

Es läßt sich nicht läugnen, daß dieser kleine Apparat manche Vorzüge besitzt, aber ein großer Nachtheil ist der, daß die Löthrohrspitze zu wenig beweglich ist. Und aus diesem Grunde wird auch er nie im Stande sein das gewöhnliche Löthrohr in seiner Anwendung bedeutend zu beeinträchtigen, wenn gleich er sich manche Freunde unter denen, die Mühe nnd Anstrengung scheuen, erwerben und somit auch zur Verbreitung der Löthrohruntersuchungen in solchen Kreisen beitragen wird, die ihnen heute noch verschlossen sind.

Kurze Zeit vorher hat schon de Luca eine einfachere Construction des Löth-

rohrs (s. beistehende Fig. I.) angegeben *), die dieses Instrument Jedermann leicht zugänglich machen soll, da die Hervorbringung eines anhaltenden gleichförmigen Luftstromes, das Haupterforderniß bei Löthrohruntersuchungen, weder eine besondere Anstrengung, noch ein längeres Erlernen erfordert. Wir haben hier das gewöhnliche Löthrohr vor uns, nur daß wir zwischen dem konischen Rohre und dem cylindrischen Behälter eine Kautschukkugel finden, in der ein Ventil angebracht ist, um das Zurücktreten der eingeblasenen Luft zu verhindern. Diese comprimirt durch das Einblasen und die Elasticität des Kautschuks entweicht nun regelmäßig und stetig aus der Löthrohrspitze, ohne daß man nöthig hat, wie bei dem gewöhnlichen Löthrohr, fortwährend zu blasen. Mittelst dieses Kunstgriffes soll man die Löthrohrflamme ohne Anstrengung und Beschwerde für das Athmen stundenlang unterhalten können.

I.



Bei den Löthrohrproben kann man sich einer jeden Flamme bedienen, sofern sie nur nicht raucht und die gehörige Hitze ausgiebt. In der älteren Zeit verwendete man die Flamme eines gewöhnlichen Lichtes. Gahn ersetzte sie zuerst durch eine Lampe, in welcher Baumöl mit einem dicken Dochte brannte. Die heute gebräuchliche Löthrohrlampe rührt von Berzelius her; Harkort hat daran jedoch einige Verbesserungen angebracht. Ihre Einrichtung wird durch die nebenstehende Abbildung deutlich (Fig. II.). Bei der Untersuchung auf flüchtige Substanzen, die in kleinen Glaskolben und dünnen Glasröhren angestellt werden, so wie beim Schmelzen in kleinen Platinlöffeln, beim Glühen u. s. w. kann auch eine gewöhnliche Spirituslampe gebraucht werden.

II.



Durch das Einblasen der verdichteten Luft in die Flamme wird ein vollständiges Verbrennen erzielt und dadurch die Wärmeentwickelung verstärkt. Es wird hierdurch eine größere Hitze der Flamme hervorgebracht, als sie ohnedem besitzt. Da hier also die ausgeschiedenen Kohletheilchen vollständiger verbrennen als unter gewöhnlichen Umständen, so leuchtet auch die durch das Löthrohr angeblasene Flamme weniger; die Hitze concentrirt sich hier in der Spitze der Flamme. In einer solchen Flamme treten die einzelnen, deutlich zu unterscheidenden Theile, die eine gewöhnliche Flamme darbietet, weniger hervor. Der hellleuchtende Theil wird beträchtlich kleiner, eben so verkürzt sich

*) L'Institut No. 1054.

auch der schwarze Kegel, während der brennende durch den vermehrten Luftzutritt von Innen und Außen bedeutend größer wird.

Eine regelrechte Flamme zu blasen, ist die Hauptaufgabe dessen, der sich mit den Löthrohrunterſuchungen vertraut machen will. Man hat hier aber zwei Arten von Flammen zu unterscheiden: die reducirende und die oxydirende. Die erstere wird erzielt, wenn man die Spitze des Löthrohrs parallel mit dem etwas schief abgeschnittenen Dochte hält, wobei dieselbe jedoch die eine schmale Seite der Flamme nicht berühren darf. Hier ist der Luftstrom schwächer; er geht in einiger Entfernung über den Docht fort und treibt die Flamme vor sich her. Eine vollständige Mengung der Flammengase mit der einströmenden Luft findet nicht statt und daher verbrennen die ausgeschiedenen Kohletheilchen erst an der Peripherie des leuchtenden Flammenkegels. Bis sie dahin gelangen, schweben sie unverbrannt, aber glühend in den verbrennenden Gasen und geben der Flamme eine gelbe Farbe, während die Oxydationsflamme, in welche mitten hinein ein stärkerer Luftstrom getrieben wird, die blaue Flamme des verbrennenden Kohlenoxydgases besitzt, weil hier in Folge des Angeführten eine vollständigere Verbrennung statt hat. Die letztere Flamme erzielt man, wenn man die Löthrohrspitze etwa bis zu einem Drittel der Dochtbreite in die Flamme eintaucht.

Bei der Reductionsflamme bringt man den zu untersuchenden Körper in die Flamme selbst, damit diese ihn umhüllt und vor der oxydirenden Einwirkung der Luft schützt. Eine Belegung mit Ruß muß man aber vermeiden, weil dadurch die Erhitzung beeinträchtigt wird und auch andere Nachtheile entstehen. Bei der Oxydationsflamme bringt man die Substanz vor die Spitze der Flamme, weil hier die Hitze concentrirt ist; je stärker die Erhitzung ist, um so leichter wirkt die atmosphärische Luft oxydirend auf den Körper ein.

Die Oxydationsflamme ist viel leichter hervorzubringen als die Reductionsflamme. Will man sehen, ob man eine regelrechte Flamme der ersten Art blasen kann, so dient als sicherster Rathgeber die Molybdänsäure, indem dieselbe mit Borax zusammengeschmolzen in einer unreinen Flamme sofort ein braunes Glas giebt, während dies bei einer richtigen Flamme nach dem Erkalten farblos erscheint. Zur Uebung für die Reductionsflamme können Manganoxyd und die Oxyde von Kupfer oder Nickel dienen. Alle drei geben mit Borax durch die Oxydationsflamme zusammengeschmolzen deutlich gefärbte Glasperlen (violettroth oder schwarz bei einem zu großen Zusatz, grün in der Wärme und blau nach der Abkühlung, in der Wärme violett und nach der Abkühlung blaß rothbraun); in der Reductionsflamme wird ersteres zu Oxydul und die letzteren werden zu Metall reducirt. Je schneller man daher im Stande ist die Farben verschwinden zu lassen, desto geübter ist man im Löthrohrblasen.

Zu einem vollständigen Löthrohrapparat gehören vielerlei kleinere Instrumente und Gegenstände, die sich jedoch in einen so kleinen Raum verpacken lassen, daß man durch das Ganze auf Reisen nicht sehr beschwert und der Mineraloge daher nicht verhindert wird, die für ihn wünschenswerthen Untersuchungen gleich an Ort und Stelle auszuführen. Zuerst gehören hierher die Unterlagen oder sonstigen Mittel, deren man sich bedient, um die zu untersuchenden Körper der Löthrohrflamme auszusetzen. Diese sind: 1) Holzkohle. Am besten ist eine gute, dichte und trockne Fichtenkohle, die man in Stücke von 6 Zoll Länge und 2 Zoll Breite so zersägt, daß die Jahresringe auf der Kante stehen. Die Kohle wendet man

hauptsächlich an, wo die Oxydation verhindert werden soll. 2) Platindraht. Er dient zur Herstellung der Borax- und zur Befestigung der Phosphorsalzperlen, in die man Stäubchen der zu untersuchenden Körper einschmilzt, um die Wirkungen beider Flammen darauf zu prüfen. Der Docht muß stets sorgfältig gereinigt und vor dem Gebrauch mit reinem Wasser abgewaschen werden, weil manche Reactionen durch die geringsten Verunreinigungen, so z. B. selbst durch den Schweiß der Hände, beeinträchtigt werden. 3) Platinblech. Hierauf untersucht man Substanzen, die auf Kohle eine Reduction erleiden.

I.

4) Platinlöffel von der Größe und Form nebenstehender Fig. I. Man schmilzt hierin gewisse Substanzen mit saurem schwefelsaurem Kali oder Salpeter zusammen. 5) Eine Zange mit Platinspitzen (s. Fig. II.) von 6 Zoll Länge. Man befestigt darin Stückchen derjenigen Substanzen, die man auf ihre Schmelzbarkeit oder auf die Färbung untersuchen will, die sie der Löthrohrflamme ertheilen. 6) Glasröhren, theils offen, theils an dem einen Ende zugeschmolzen. Die ersteren dienen besonders zum Rösten von schwefel-, selen-, arsen-, antimon- und tellurhaltigen Substanzen, welche, wenn man sie nach bestimmten Regeln erhitzt, entweder die Wände verschiedenartig beschlagen oder sich durch einen bestimmten Geruch auszeichnen. Die letzteren gebraucht man, um Substanzen, welche flüchtige Bestandtheile enthalten, unter möglichst geringem Luftzutritt zu erhitzen. Die flüchtigen Körper werden dadurch ausgetrieben und setzen sich an die Wände an, aber nicht wie in den Glasröhren im oxydirten Zustande.

II.



Zur Vervollständigung eines solchen Apparates dienen noch: ein Hammer, ein kleiner Amboß ein Stahlmörser, Feilen von verschiedener Art, ein Messer, eine Scheere, eine Kneifzange, also im Allgemeinen Instrumente zur Zerkleinerung; ferner ein Magnet und eine Loupe.

Die Hauptreagentien sind Soda, Borax und Phosphorsalz (phosphorsaures Natron-Ammoniak). Die erstere muß frei von Wasser und Schwefelsäure sein. Sie dient hauptsächlich zur Beförderung der Reduction der Metalloxyde und Schwefelmetalle auf Kohle, zur Aufschließung der Silicate und zur Feststellung der Löslich- oder Unlöslichkeit eines Körpers beim Zusammenschmelzen mit derselben. Auch der Borax wird zum größten Theil von seinem Krystallwasser befreit. Durch ihn erkennt man viele Körper an den Farben, die in den beiden Flammen auftreten oder verschwinden; zugleich dient er aber auch, um die Löslich- oder Unlöslichkeit einer Substanz nachzuweisen. Das Wirkende ist hier die freie Borsäure, die sich bei erhöhter Temperatur mit Oxyden verbindet, schwache Säuren austreibt und mit Hülfe der Oxydationsflamme Metalle, Schwefel- und Haloidverbindungen zur Oxydation geneigt macht. So entstehen borsaure Oxyde, die mit dem borsauren Natron zusammenschmelzen und dem Glase verschiedene Färbungen ertheilen. Eben so ist sie im Stande Basen und Säuren aufzulösen und es entstehen mithin basische und saure Doppelsalze. Wegen der Entweichung von Wasser und Ammoniak aus dem Phosphorsalz kann man die Perlen desselben nicht gut auf dem Platindraht anfertigen; dies geschieht auf Kohle. Sonst ist seine

Anwendung ganz so wie die des Borax, nur die Reactionen sind meistens verschieden. Auch hier wirkt vorzüglich die freie Phosphorsäure, welche ein starkes Auflösungsmittel für viele Stoffe abgiebt und mit den Basen mehr oder minder leicht schmelzende Salze bildet, die sich mit dem phosphorsauren Natron zu Doppelsalzen vereinigen und die verschiedene Färbung bedingen. Ferner dient das Phosphorsalz bei der Probe auf Fluor zur Abscheidung der Basen.

Andere Reagentien sind noch: neutrales oxalsaures Kali, Cyankalium (beides sind bessere Reductionsmittel als Soda), Salpeter (Oxydationsmittel), saures schwefelsaures Kali (zur Austreibung und Erkennung gewisser flüchtiger Substanzen, als Lithion, Borsäure, Salpetersäure, Fluor, Brom und Jod, und zur Zerlegung von titan-, tantal- und wolframsauren Salzen), eine Auflösung von salpetersaurem Kobaltoxydul, durch welche Thonerde blau, Magnesia rosenroth, Zinnoxyd, Zinkoxyd und Titansäure grün gefärbt werden, Zinn (Steinöl, um die Reduction einer in Borax oder Phosphorsalz gelösten Substanz zu befördern), Eisen (starke Claviersaiten, um die Phosphorsäure in den Salzen zu Phosphor zu reduciren, mit dem es Phosphoreisen bildet und dieses dient wieder bei der Probe auf Antimon im Schwefelbleie und zur Abscheidung des Schwefels), Silberblech, um Schwefel und Schwefelsäure aufzufinden.

Von mehr eingeschränktem Gebrauch sind noch folgende Reagentien: Lakmuspapier, antimonsaures Kali, um kleine Mengen von Kohlenstoff aufzufinden (es veranlaßt durch Abgabe des Sauerstoffs die Bildung von kohlensaurem Kali, das durch Aufbrausen bei Zusatz von Säure zu der Auflösung in Wasser erkannt wird), Flußspath (er dient in Gemeinschaft von schwefelsaurem Kali, um Lithion und Borsäure zu entdecken), Kupferoxyd (zum Auffinden von Salzsäure und Chlor), oxalsaures Nickeloxydul (zur Nachweisung des Kalis bei Gegenwart von Natron und Lithion).

Alle diese verschiedenen Reagentien bewahrt man entweder in kleinen, gut verstöpselten Gläsern oder in einem kleinen Kasten auf, der mit verschiedenen kleinen Abtheilungen versehen ist.

Eben so wie bei der qualitativen Untersuchung auf nassem Wege muß man auch bei Löthrohruntersuchungen einen bestimmten Gang, der bereits von Berzelius angegeben ist, inne halten, wenn man bestimmt über die Gegenwart oder Abwesenheit gewisser Stoffe ins Klare kommen will. Man führt hierbei die einzelnen Operationen in folgender Ordnung aus.

1) Prüfung in einer an einem Ende zugeschmolzenen Glasröhre. Beim Erhitzen derselben werden verflüchtigt: Wasser, Quecksilber, Schwefel, Schwefelarsen, Selen, Tellur. Ferner können hier erkannt werden Ammoniak und Sauerstoff. Dann muß man beobachten, ob der erhitzte Körper in irgend einer Weise Veränderungen erleidet, ob er z. B. seine Farbe, seine Gestalt oder seinen Aggregatzustand verändert, eine Feuererscheinung zeigt, phosphorescirt oder decrepitirt.

2) Prüfung in der offenen Glasröhre. Schwefel oxydirt sich hier zu schwefliger Säure (leicht am Geruch zu erkennen), Arsenik zu arseniger, Antimon zu Antimonoxyd und Tellur zu telluriger Säure. Die beiden ersteren

Sublimate können beide durch Hitze von den Stellen fortgetrieben werden, wo sie sich angelegt haben, aber nicht die tellurige Säure, die nur schwitzt.

3) Prüfung auf Kohle. Auch hier werden flüchtige Producte gebildet, die sich auf der Kohle absetzen. Durch die Farben dieser Beschläge und durch andere Eigenschaften erkennt man verschiedene bestimmte Körper. Selen: brauner Rauch, Beschlag in geringer Entfernung stahlgrau, schwach metallisch glänzend, in größerer dunkelgrau ins Violette fallend, matt; starker Geruch nach verfaultem Rettig. Tellur: Beschlag weiß mit rother oder dunkelgelber Kante, verschwindet in der Reductionsflamme mit einem grünen, bei Gegenwart von Selen mit einem blaugrünen Scheine. Arsen: Beschlag weiß, in dünnen Lagen graulich, setzt sich erst in großer Entfernung ab; bei seiner Verflüchtigung bemerkt man einen starken Geruch nach Knoblauch. Antimon: Beschlag weiß und weniger flüchtig als der vom Arsenik. Schmilzt man metallisches Antimon auf der Kohle und bringt man es zum Rothglühen, so stößt es, indem es Sauerstoff aus der Luft absorbirt, einen dicken weißen Rauch aus und bleibt wegen der bedeutenden Wärme, welche durch die Heftigkeit dieser Reaction entwickelt wird, längere Zeit rothglühend, bis sich die Oberfläche der Kugel ganz mit Oxydkrystallen bedeckt hat. Wismuth: Beschlag in der Hitze dunkel orangegelb, nach dem Erkalten citronengelb (Wismuthoxyd), in dünnen Lagen bläulich weiß (kohlensaures Wismuthoxyd). Blei: Beschlag in Wärme dunkelcitronengelb, nach dem Erkalten schwefelgelb (Bleioxyd), in dünnen Lagen bläulich weiß (kohlensaures Bleioxyd); wird in beiden Flammen reducirt und verläßt dabei in der Reductionsflamme seine Stelle mit einem azurblauen Scheine. Kadmium: brennt in der Oxydationsflamme mit dunkelgelber Flamme und braunem Rauch; Beschlag nach völliger Abkühlung rothbraun, in dünnen Lagen orangegelb, von der äußersten Grenze des Beschlages an erscheint die Kohle pfauenschweifartig bunt angelaufen. Zink brennt in der Oxydationsflamme mit einer stark leuchtenden grünlichweißen Flamme und einem dicken weißen Rauch; Beschlag in der Hitze gelb, nach dem Erkalten weiß. Zinn bedeckt sich im Oxydationsfeuer mit Oxyd, im Reductionsfeuer setzt sich ein in der Wärme schwach gelber, nach dem Abkühlen weißer Beschlag ganz in der Nähe der Probe ab. Molybdän oxydirt sich in der äußeren Flamme und setzt dicht an der Probe einen in der Hitze gelblichen, nach dem Abkühlen weißen Beschlag (Molybdänsäure) ab; beim Verflüchtigen desselben bleiben die mit der Kohle in Berührung gestandenen Theilchen als dunkel kupferrothes Molybdänoxyd zurück. Silber beschlägt die Kohle ganz schwach mit einem dunkelrothen Oxyd, selbst wenn es mit Blei und Antimon zusammen vorkommt, nachdem diese verflüchtigt sind.

4) Prüfung in der Platinzange. Man prüft hier einerseits die verschiedenen Körper auf ihre Schmelzbarkeit; andererseits dient die Färbung, die sie der Flamme ertheilen, wiederum als Kennzeichen für gewisse Körper. Natron färbt die Flamme gelb. Kali violett; die letztere Reaction wird aber durch Natron und Lithion verdeckt. Eine rothe Flamme geben: Lithion, Strontion und Kalk; Baryt hebt aber die Reaction der beiden letzteren auf; eine grüne: Baryt, Molybdänsäure, Kupferoxyd, tellurige Säure, Phosphorsäure und Borsäure; eine blaue: Arsen, Antimon, Blei, Selen, Chlor und Brom-Kupfer.

5) Prüfung in der Boraxperle. Oft muß hier eine sorgfältige Röstung vorhergehen, um die etwa vorhandenen Metalle in Oxyde zu verwandeln.

6) Prüfung in der Phosphorsalzperle. Hier wie bei dem Vorgehenden müssen die Farben, welche die Perlen im heißen Zustande, während der Abkühlung und nach dem Erkalten und zwar in beiden Flammen zeigen, auf das Genaueste beobachtet werden. Wir stellen für beide das Verhalten der wichtigeren Metalloxyde, wie es von Plattner in seinem Werke angegeben wird, zusammen.

Metalloxyd	Verhalten zu Borax Oxydationsflamme	auf Platindraht Reductionsflamme	Verhalten zu Phosphorsalz Oxydationsflamme	auf Platindraht Reductionsflamme.
Manganoxyd	färbt sehr intensiv; warm violett, kalt roth mit einem Stich ins Violette; bei starkem Zusatz schwarz	farblos	violett, bei starkem Zusatz ein dunkles, undurchsichtiges Glas	farblos.
Eisenoxyd	warm gelb oder roth, kalt farblos oder gelb	bouteillengrün	nach dem Abkühlen farblos oder bei größerem Zusatz bräunlichroth	bei geringem Zusatz wird das Glas nicht verändert; bei einem größeren erscheint es in der Wärme roth, dann gelb, grünlich und nach dem Erkalten röthlich.
Kobaltoxydul	smalteblau oder tief dunkelblau, fast schwarz	ebenso	nicht so intensiv gefärbt wie beim Borax	ebenso.
Nickeloxydul	violett, nach der Abkühlung rothbraun	grau und trübe durch metallisches Nickel	röthlich, nach der Abkühlung gelb	keine Veränderung.
Zinkoxyd	farblos, bei starkem Zusatz emailartig	anfangs unklar, nach längerem Blasen aber wieder klar	wie beim Borax	ebenso.
Kadmiumoxyd	klar und gelbliches Glas; bei starkem Gehalt emailartig		wie beim Borax	
Bleioxyd	dem vorigen ähnlich; bei starkem Zusatz nach dem Abkühlen emailgelb	auf der Kohle wird das Blei reducirt		
Zinkoxyd	klares farbloses Glas; bei größerem Zusatz unklar mit undeutlichen Krystallisationen		klar und farblos	keine Veränderung.
Wismuthoxyd	klares Glas, in der Hitze gelb, dann farblos	der Wismuth wird reducirt und die Perle zuletzt wieder klar	farblos in der Kälte oder bei großem Zusatz emailartig	

Metalloxyd	Verhalten zu Borax Oxydationsflamme	auf Platindraht Reductionsflamme	Verhalten zu Phosphorsalz Oxydationsflamme	auf Platindraht Reductionsflamme.
Uranoxyd	wie Eisenoxyd, nur etwas heller	eben so	klares gelbes Glas, beim Abkühlen gelbgrün	schön grün, nach dem Abkühlen noch schöner.
Kupferoxyd	färbt ziemlich intensiv; in der Wärme grün, kalt blau	farblos, im Augenblick des Gestehens roth und undurchsichtig	nicht so starke Färbung, wie beim Borax	dunkelgrün, beim Abkühlen undurchsichtig braunroth.
Silberoxyd	wird theils aufgelöst, theils reducirt; daher milchweiß oder glasartig		gelbliches Glas	
Oxyde von Platin und den dasselbe begleitenden Metallen	werden, ohne sich aufzulösen, reducirt	eben so	wie zu Borax	eben so.
Goldoxyd	desgleichen	eben so	wie zu Borax	eben so.
Titansäure	klares Glas, in der Wärme farblos oder gelb, nach dem Erkalten farblos	gelb bis braun	klares Glas wie beim Borax	in der Wärme gelb, nach dem Erkalten violett, bei Gegenwart von Eisen braungelb oder roth. Zinn schafft die Farbe des Eisens fort.
Antimonoxyd	klares Glas, in der Wärme gelblich, nach der Abkühlung farblos	graulich und trübe von reducirtem Antimon, das sich aber verflüchtigt	klares, in der Wärme schwach gelbliches Glas	
Wolframsäure	klares, in der Hitze gelbliches Glas	wird nicht verändert; bei starkem Zusatz in der Wärme dunkelgelb, beim Erkalten braungelb	klares farbloses Glas	rein blau, bei Eisengehalt blauroth, welche Farbe sich jedoch bei Zinnzusatz wieder in Blau umwandelt.
Molybdänsäure	klares farbloses Glas, in der Wärme gelb	braun oder ganz undurchsichtig	klares, beinahe farbloses Glas, in der Wärme gelbgrün	ganz dunkel schmutzig grün, nach der Abkühlung aber sehr schön grün.
Vanadinsäure	klares farbloses oder gelbes Glas	heiß bräunlich, abgekühlt schön chromgrün	wie zu Borax	wie zu Borax.

Metalloxyd	Verhalten zu Borax Oxydationsflamme	auf Platindraht Reductionsflamme	Verhalten zu Phosphorsalz Oxydationsflamme	auf Platindraht Reductionsflamme.
Chromoxyd	färbt intensiv; warm gelb, kalt gelbgrün oder warm dunkelroth, kalt schön grün, jedoch etwas gelblich	warm und kalt schön grün	klares Glas, warm röthlich, kalt schön grün	dunklere Farben wie in der Oxydationsflamme.

7) Prüfung mit Soda. Der zu untersuchende Körper wird mit Soda gemengt und das angefeuchtete Gemisch auf Kohle gestrichen. Bis die Feuchtigkeit verdunstet ist, erhitzt man schwach, dann aber sehr stark. Man beobachtet hier 1. ob ein Aufbrausen stattfindet (Kieselsäure, Titansäure, Wolframsäure, Molybdänsäure), oder 2. eine Reduction (bei den Oxyden der edlen Metalle und den Oxyden von Molybdän, Wolfram, Antimon, Arsen, Tellur, Kupfer, Quecksilber, Wismuth, Zinn, Blei, Zink, Kadmium, Nickel, Kobalt und Eisen). Zum Theil verflüchtigen sich die Metalle hierbei und geben dann die schon angegebenen Beschläge.

Außer diesen Versuchen muß man noch für einzelne Stoffe besondere anstellen. Wir verweisen jedoch dieserhalb auf die besonderen Anweisungen, die wir für die Löthrohruntersuchungen besitzen. Außer den beiden, schon oben besprochenen classischen Werken von Berzelius und Plattner führen wir noch an: Scheerer, Löthrohrbuch, Braunschweig bei Vieweg 1851; Krüger, Leitfaden zu qualitativen Untersuchungen mit dem Löthrohr, Berlin bei Ritze 1851. Eben so ist auch in den Lehrbüchern für die Analyse im Allgemeinen zumeist auf die Löthrohruntersuchungen gebührend Rücksicht genommen, so z. B. in Wackenroder's ausführlicher Charakteristik der unorganischen Basen und Säuren, Jena 1843; Winkelblech's Elementen der analytischen Chemie, Marburg und Leipzig 1838; Fresenius, Anleitung zur qualitativen chemischen Analyse und H. Rose's Handbuch der analytischen Chemie. **W. B.**

Log, s. Meer.

Loupe, s. Mikroskop.

Luft, atmosphärische, s. Atmosphäre.

Luftball, Luftballon, Aërostat, aërostatische Maschine, Montgolfière, Charlière. Ein Aërostat ist eine Maschine, die ohne Unterstützung oder Aufhängung in der atmosphärischen Luft im Gleichgewichte zu sein vermag, sich darin erheben und bewegen kann. Dabei trägt sie entweder blos ihr eigenes Gewicht oder noch andere angehängte Lasten. Da der Aërostat in der Regel, entweder durchaus oder seinem wesentlichsten Theile nach, eine kugelförmige Gestalt hat, so heißt er gewöhnlich Luftball oder Luftballon. Der Aërostat unterscheidet sich von der Flugmaschine darin, daß die letztere sich in der Luft erhebt und erhält — oder vielmehr sich erheben und erhalten soll — durch Anwendung einer bestimmten, der Maschine beigegebenen Kraftäußerung, während der Aërostat sein Verhalten nur einem gewissen Volums- und Gewichtsverhältniß verdankt.

Das dem Menschen unauslöschlich inwohnende Bestreben, sich zum Herrn der Naturkräfte zu machen, zu dem er bestimmt ist, mußte früh schon den Gedanken entstehen lassen, die Luft in ähnlicher Weise zu durchschiffen, wie es mit der Oberfläche des Meeres so leicht gelungen war. Zwei Vorbilder waren gegeben, der fliegende Vogel und die schwebende Wolke; es handelte sich darum, das was von Natur diesen beigelegt war, die Fähigkeit durch die Luft sich zu bewegen, für den Menschen durch Nachdenken und Kunst zu ersetzen. Obwohl nun keinerlei Unmöglichkeiten dem Bestreben einer willkürlichen Bewegung durch den Luftraum von vornherein entgegenstehen, so sind doch die bis jetzt erreichten Resultate für die praktische Anwendung so gering, daß vielleicht noch ein großer Zeitraum verschwinden wird, ehe diese Frage ihre Lösung erreicht. Die alte Sage von Dädalus und Ikarus beweist, wie alt jenes Nachdenken zur Lösung dieser Frage ist, die so sehr den menschlichen Geist zu beschäftigen weiß, daß kein Mißlingen ihn davon abbringen wird. Es lag nahe, wie diese Sage angiebt, durch Nachahmung der Vögel sich in die Luft erheben zu wollen, aber hier hat die Einrichtung des menschlichen Körpers und das Maß seiner physischen Kraft ein bisher unüberwundenes Hinderniß entgegengestellt. Die Vögel erheben sich, indem sie mit ihren Flügeln die Luft schlagen, so daß der Luftwiderstand gegen die bewegten Flügel größer ist als das Gewicht des Vogels; der Luftwiderstand ist aber abhängig von der Größe der Flügelfläche und von der Schnelligkeit des Flügelschlages; daher müssen Vögel mit verhältnißmäßig kleinen Flügeln dieselben schnell bewegen, während ein langsamer Flügelschlag große, ausgebreitete Flügel voraussetzt, immer aber muß der Vogel bei jedem Schlage einen Druck ausüben, der größer als sein Gewicht ist, wozu nun noch kommt, daß er diesen Druck bei einer in der Regel nicht langsamen Flügelbewegung ausübt, und daß er diese Anstrengung längere Zeit hindurch zu ertragen vermag *). In diesen drei Voraussetzungen steht der Mensch dem Vogel entschieden nach, denn er vermag bei mäßiger Bewegung nur einen Druck auszuüben, der dem vierten oder fünften Theile seines Körpergewichts gleichkommt, und besitzt dabei keine Organe, die es möglich machen, den Druck unmittelbar gegen die Luft auszuüben. Sollten solche Organe — nämlich Flügel — ihm künstlich ersetzt werden, so würde dadurch das zu hebende Gewicht nur vermehrt und das Mißverhältniß der Kraft noch größer werden. Dagegen besitzen die Vögel außer der zum Fliegen günstigeren Körpergestalt und den dem Zwecke vollkommen entsprechenden natürlichen Flugorganen so starke Brustmuskein, daß das Mißverhältniß der relativen Körperkraft der Menschen zu der der Vögel bedeutend genug erscheint. Diesen Mangel aber durch eine Kraftmaschine zu ersetzen wird so lange noch unthunlich bleiben, als diese Kraftmaschinen immer noch ein sehr großes absolutes Gewicht haben.

War es nicht möglich, die fliegenden Geschöpfe nachzuahmen, so fragte es sich, ob man nicht die Wolken und Dünste, die sich ja auch in der Atmosphäre erheben und bewegen, würde nachahmen können. Diesen Gedanken treffen wir schon in der von Gellius angeführten Sage **). Doch es mußte erst die Erkenntniß von dem Gewichte der Luft bestimmt ausgebildet sein, ehe man zu dem

*) S. das Nähere im Art. Fliegen. Bd. III. S. 276.
**) Art. Flugmaschine. Bd. III. S. 286.

Schluß kommen konnte, daß ein Körper, der leichter als ein gleich großes Luftvolumen ist, eben so in der Atmosphäre aufsteigen müsse, wie untergetauchte Körper, die leichter als Wasser sind, von selbst wieder in demselben aufsteigen. Diese Erkenntniß brachte etwa die Mitte des siebzehnten Jahrhunderts und alsobald tauchten auch bestimmtere Vorschläge zur Bildung eines Aërostaten auf. So macht Franz Lana in einer Schrift vom Jahre 1670 den Vorschlag, ein Luftschiff durch kupferne luftleere Kugeln zu heben, und P. Galien träumt 1755 von einer Maschine aus Leinwand mit Wachs und Theer bestrichen und so groß als die Stadt Avignon, welche mit leichterer Luft aus der Region des Hagels gefüllt, sich in die Höhe heben müßte.

Da entdeckte Cavendish 1766 die große Leichtigkeit des Wasserstoffs, und Black in Edinburg äußerte den Gedanken, daß leichte Blasen mit Wasserstoff gefüllt in der Luft aufsteigen müßten; Cavallo, der den Gedanken ebenfalls gehabt, stellte im Jahre 1782 Versuche an, doch war das zu den Kugeln angewandte Papier für das feine Gas durchdringlich, und die Schweinsblase war zu schwer. Es gelang nur Seifenblasen, mit Wasserstoff gefüllt, zum Steigen zu bringen. Diesen Versuch machte auch Lichtenberg in Göttingen. Bevor es aber gelang einen passenden Stoff zu den Gaskugeln zu finden, kamen die Brüder Stephan und Joseph Montgolfièr, Papierfabrikanten zu Annonay, die ebenfalls vergeblich den Wasserstoff in Papiersäcken hatten einschließen wollen, auf ein anderes Mittel zur Herstellung eines Aërostaten. Sie kamen aus der Betrachtung der in der Luft schwebenden Wolken auf den Gedanken, eine durch Kunst erzeugte Wolke in eine Hülle einzuschließen, wobei sich noch der Gedanke einschlich, daß die Leichtigkeit dieser Wolke durch Elektricität würde befördert werden. Es gelang dem älteren Montgolfièr ein 40 Kubikfuß enthaltendes Parallelepipedum von Taffent, in dem es mit Rauch von brennendem Papier angefüllt wurde, bis zur Decke des Zimmers steigen zu lassen. Der Versuch gelang auch mittelst einer Maschine, welche 650 Kubikfuß hielt. Hierauf construirten sie nun eine Maschine von Leinwand, die 35 Fuß im Durchmesser hatte, 450 Pfund schwer war und überdies noch eine Last von 400 Pfund trug, und ließen dieselbe am 5. Juni 1783 zu Annonay in Gegenwart der Stände von Vivarrais aufsteigen. Sie erhob sich bis zu einer Höhe von 1000 Fuß und fiel 12000 Fuß vom Orte des Aufsteigens wieder herab. Der Grund, aus welchem diese Maschinen stiegen, war offenbar die durch die Wärme im Innern des Ballons ausgedehnte Luft. Ist vor dem Füllen der Ballon zusammengedrückt, so enthält er nur eine sehr geringe Quantität Luft, diese dehnt sich durch die Erhitzung aus, treibt den Ballon auf und nimmt daher nun in diesem einen bei weitem größeren Raum ein als vorher, ohne durch die Erwärmung an Gewicht zugenommen zu haben. Offenbar wiegt jetzt die im Ballon enthaltene Luft bei weitem weniger als ein gleich großes Volumen atmosphärischer Luft, welches durch sie aus der Stelle getrieben worden, und ist dieser Unterschied an Gewicht größer als das Gesammtgewicht des Materials, aus dem der Ballon gefertigt ist, und die ihm noch angehängte Last, so wird sich der Ballon in die Höhe heben müssen. Diese Einsicht hatten indeß die Gebrüder Montgolfièr in ihre Erfindung nicht, sie glaubten vielmehr durch das Verbrennen des Strohes und des Papieres eine eigene Gasart erzeugt zu haben, welche leichter als atmosphärische Luft sei, und einige Schriftsteller, die auf diese Ansicht eingingen, sprachen daher von einem Montgolfièr'schen Gase.

Alle mit erwärmter und daher verdünnter Luft gefüllte Luftballons werden nach ihren Erfindern Montgolfièren genannt.

Noch in demselben Jahre gelang es auch den ersten mit Wasserstoffgas gefüllten Ballon zum Steigen zu bringen. Die Mechaniker Gebrüder Robert zu Paris verfertigten unter Anleitung des Professors Charles einen Ballon von Taffent, welcher 12 Fuß 2 Zoll im Durchmesser hatte und (der besseren Dichtigkeit wegen, um das Gas nicht entweichen zu lassen) mit Firniß von aufgelöstem Federharze überzogen wurde. Der Ball wurde mit Wasserstoffgas aus Eisenfeile und verdünnter Schwefelsäure gefüllt, wog 25 Pfd. und erhob sich (den 27. August 1783 auf dem Marsfelde) in 2 Minuten 488 Toisen hoch und verschwand dann in den Wolken. Man fand ihn 5 Lieues von Paris bei dem Dorfe Genesse wieder. Er hatte einen Riß erhalten. Wahrscheinlich hatte er sich in so hohe Luftregionen erhoben, daß die umgebende Luft dem sich im Innern ausdehnenden Gase nicht mehr den hinreichenden Widerstand geleistet hatte, so daß der Ballon ganz aus derselben Ursache zerplatzte, aus der eine Blase unterhalb der Glocke einer Luftpumpe erst immer weiter sich ausdehnt und endlich zerspringt.

Die mit Wasserstoffgas gefüllten Luftballons werden nach ihrem ersten Erbauer Charlièren genannt.

Auch Montgolfièr ließ noch im September 1783 den von ihm erfundenen Luftballon in Paris und in Versailles sehen. Ein Sphäroid von Leinwand, 57 Fuß hoch, 41 Fuß breit und von 37500 Kubikfuß Inhalt, erhob sich nach Verbrennung von 80 Pfund Stroh und 5 Pfund Wolle bis zur Höhe von 240 Toisen. An dem Ballon befand sich ein Käfig, in welchem ein Hammel, eine Ente und ein Hahn saßen, und mit diesem Käfig wog der Ballon 900 Pfund. Er schwebte 8 Minuten lang in der Luft und fiel dann 1700 Toisen vom Orte des Aufsteigens so sanft herab, daß die Thiere ganz unbeschädigt waren.

Die ersten, die es wagten mit einem Luftballon aufzusteigen, waren Pilatre de Rozier und der Marquis d'Arlandes. Jener versuchte erst mittelst eines am Seile befestigten Ballons, wie sich durch abwechselnde Vermehrung und Verminderung des Feuers unterhalb einer Montgolfière, diese nach Belieben zum Steigen oder Sinken bringen ließ. Der Luftballon bestand also in einem mit verdünnter warmer Luft erfüllten Ball, der unten offen war und unterhalb dessen Oeffnung eine Gluthpfanne hing, in welcher sich das Feuer nach Belieben verstärken oder schwächen ließ. Die genannten Männer bedienten sich einer Maschine von 60000 Kubikfuß Inhalt, welche eine Last von 1600 bis 1700 Pfund trug, und erhoben sich in derselben am 21. November im Schlosse la Muette, wurden vom Winde über einen Theil von Paris und über die Seine getrieben und sanken ohne Beschädigung zu erleiden, nach 25 Minuten 5000 Toisen vom Orte des Aufsteigens wieder herab.

Charles und der eine Robert machten bald darauf den 1. December 1783 die erste Luftfahrt in einem mit Wasserstoffgas gefüllten Ballon. Dieser Ballon hatte 26 Fuß im Durchmesser und war von Taffent. Er flog mit seiner Last in den Tuilerien auf und schwebte in einer Höhe von 250 bis 300 Toisen ungefähr 2 Stunden lang fort, bis er in der Ebene bei Nesle, 9 Stunden von Paris niedersank. Hier stieg Robert aus und der auf diese Weise um 130 Pfd.

erleichterte Ballon erhob sich nun mit Charles aufs Neue und zwar bis zu einer Höhe von 1500 Toisen. Nach 35 Minuten sank er jedoch bei Tour du Lay herab, ohne daß Charles eine Beschädigung erlitt. Es wurden nun durch diese ersten glücklichen Versuche ermuthigt von vielen Personen Luftfahrten theils in Montgolfièren, theils in Charlièren gemacht. Das größte Aufsehen erregte aber die Reise, welche Blanchard, ein Franzose, und Jefferies, ein Amerikaner, über den Canal machten. Sie bedienten sich eines schon bei 5 Luftfahrten erprobten Ballons mit Wasserstoffgas und bewerkstelligten so die Reise über den Canal von Dover nach Calais am 7. Januar 1785. Das Gas entwich indeß zum Theil aus dem Ballon, wodurch derselbe sank und die Reisenden in die Gefahr kamen ins Meer zu fallen. Um den Ball zu erleichtern und dadurch wieder zum Steigen zu bringen, mußten sie nicht allein allen Ballast, den sie mitgenommen, sondern auch alle ihre Sachen und sogar einen Theil ihrer Kleider wegwerfen. Auf diese Weise gelang es ihnen wohlbehalten im Walde von Guiennes anzukommen. Der König von Frankreich beschenkte Blanchard mit 12000 Franken und einer jährlichen Pension von 1200 Franken.

Sehr unglücklich lief dagegen ein anderer Versuch über den Canal mittelst einer Montgolfière zu setzen ab, welchen Pilatre de Rozier und Romain anstellten. Sie stiegen am 15. Juni 1785 zwischen Calais und Boulogne auf. Nachdem sie schon eine Zeitlang über dem Meere geschwebt, wurden sie vom Winde nach dem Lande zurückgetrieben. Da, in einer Höhe von 1200 Fuß, entzündete sich die Maschine und die beiden Männer stürzten herab, wodurch sie so zerschmettert wurden, daß man kaum die menschliche Gestalt an ihnen wiedererkennen konnte. Dieses Unglück ist der Grund, warum spätere Luftfahrer sich selten der Montgolfièren bedient haben, obschon sie, abgesehen von der Gefahr des Verbrennens, Vorzüge vor den Charlièren besitzen, von denen sogleich näher die Rede sein wird.

Interessant ist die Luftreise, welche Crosbie am 19. Juni in Dublin anstellte, um über den Canal nach Holyhead in England zu fahren. Die Gondel war mit einem zweckmäßigen Rande versehen, um im unglücklichen Falle als Kahn zu dienen. Er nahm 300 Pfund Ballast mit, wovon er aber 50 Pfund beim Aufsteigen wegwarf. Anfangs trieb ihn ein gerader Westwind nach England, bald aber wurde der Wind NO., und so befand er sich 40 engl. Meilen von der irländischen Küste im Anblick beider Länder, ein Schauspiel, welches er als alle Vorstellung übertreffend schildert. Die Kälte war so stark in der großen Höhe, daß seine Dinte gefror und das Quecksilber des Thermometers bis in die Kugel sank. Crosbie selbst befand sich unwohl und fühlte einen heftigen Druck gegen das Paukenfell. In der größten Höhe glaubte er still zu stehen, ließ aber etwas Gas entweichen und sank herab, kam aber dabei in einen nördlichen Luftstrom, sank bald darauf durch eine Wolke, worin er Blitz und Donner wahrnahm, und kam nahe über das Wasser, gegen welches der Wind ihn so heftig trieb, daß alle Bemühungen, Ballast auszuwerfen, vergebens waren, das Wasser in die Gondel drang, seine Beobachtungsregister zerstörte und er selbst seine Korkweste anlegte. Hier zeigte sich der Nutzen der Einrichtung seiner Gondel, welcher sein eigenes Gewicht und das des eingedrungenen Wassers als Ballast diente, so daß er vermittelst des fliegenden Ballons mit reißender Schnelligkeit nach der Küste trieb, wo ihn ein Schiff von Dunleary auffing, den Ballon befestigte und alles wohlbehalten in diesen Hafen brachte.

Mit Ausübung und Verbesserung der Luftschifffahrt beschäftigte sich sehr viel der Graf Zambeccari, indem er um den Ballon lenken zu können, eine Charlière mit einer Montgolfière verband (s. d. Folg.) und selbst mehrere Male aufstieg. Er hatte bei seinen Luftfahrten verschiedene Unglücksfälle. Den 7. Octbr. 1803 stieg er mit noch zwei anderen zu Bologna auf, und zwar ging der Ballon bis zu einer solchen Höhe hinauf, daß die Luftschiffer ganz erstarrten und dem Grafen Zambeccari nachher in Venedig drei Finger abgenommen werden mußten. Der Ballon fiel endlich ins Meer und die drei Männer wurden durch einen Schiffer gerettet. Der Ballon aber flog nach dem Abschneiden der Gondel bis nach Bosnien und fiel bei der türkischen Festung Vihacs nieder. Dort erregte er solche Verwunderung, daß ihn der Commandant für einen Boten des Himmels ansah, ihn in Stücke zerschneiden ließ und diese an seine Freunde vertheilte. Bei einer zweiten Luftfahrt 1804 fiel Zambeccari ebenfalls ins adriatische Meer.

Es sind seitdem sehr viele Luftfahrten unternommen worden, aber immer sind die Luftballons nur erst noch ein lebensgefährliches Spielzeug geblieben. Nützliche Anwendungen sind ohne großen Erfolg versucht worden. Die vorzüglichsten Leistungen des Luftballons sind die, daß sie Naturforschern Gelegenheit gegeben haben, die Beschaffenheit der Atmosphäre in verschiedenen Höhen kennen zu lernen, jedoch fast nur um schon Bekanntes zu bestätigen. Am 24. August 1804 unternahmen die beiden berühmten französischen Physiker Biot und Gay-Lussac eine Luftfahrt und den 16. Septbr. stieg Gay-Lussac allein auf. Er erreichte eine Höhe von 3600 Toisen, d. i. 333 Toisen höher als der Chimborazo.

Im französischen Heere wurden während des Revolutionskrieges Anwendungen des Luftballons zu Auskundschaftung der Stellungen des Feindes gemacht, welche besonders durch den französischen General Meusnier betrieben wurden. So ließen die Franzosen am Tage der Schlacht bei Fleurus einen Ballon von 57 Fuß Umfang aufsteigen, welcher, weil es nur um eine senkrechte Aufsteigung zu thun war, durch 30 bis 40 Pferde gehalten wurde. Officiere in der Gondel des Ballons beobachteten das Lager der Oesterreicher und nachdem sie ihre Beobachtungen auf Zettel geschrieben, ließen sie dieselben an einer mit Blei beschwerten Schnur herab. Gegen einen Luftballon bei Maubeuge sollen 17 Kanonen ohne Erfolg gerichtet gewesen sein. — Man hat endlich kleine Charlièren statt der elektrischen Drachen (s. d. Art.) zu Beobachtungen über die Elektricität hoher Luftschichten angewendet. Man befestigt eine kleine Charlière aus Goldschlägerhaut an eine Schnur, in welche Metallfäden eingewebt sind, und bringt an dem Ball selbst eine metallene Spitze an, welche durch einen Draht mit der Schnur verbunden wird; das untere Ende der Schnur wird isolirt.

Die größeren Charlièren werden aus leichten seidenen Zeugen, wohl auch aus baumwollenen verfertigt, welche man mit einem Firniß überstreicht, um sie für das Wasserstoffgas weniger durchdringlich zu machen. Anfangs nahm man zu diesem Firniß in Terpentinspiritus aufgelöstes Federharz, nachher hat man sich vorzüglich des mit Terpentinspiritus verdünnten Leinölfirnisses bedient, welcher leichter trocknet. Man giebt den Ballons immer die Kugelgestalt, weil sie so bei der möglich kleinsten Oberfläche den größten Inhalt haben. Der Ball wird mit einem Netz von seidenen Schnüren überzogen und an dieses die Gondel befestigt, so daß auch die Seiten der Gondel, welche sehr leicht sein müssen, von den Schnüren

umgeben werden, damit der Luftfahrer nicht bei einer plötzlichen Wendung des Ballons, die er durch die in der Atmosphäre wechselnden Luftströmungen erhält, herausgeworfen werde. Unterwärts hat der Ball einen Schlauch, durch welchen er mit Gas gefüllt und der nach der Füllung geschlossen wird. Um den Ball nach Belieben steigen zu machen, nimmt man in die Gondel mit Sand gefüllte Säcke, Ballast, mit. So wie der Luftschiffer von diesem Sande ausschüttet, wird der Ballon erleichtert und steigt folglich höher. Ferner dient zur Lenkung der Charlièren eine Klappe oberwärts im Ballon, welche für gewöhnlich geschlossen ist, aber mittelst einer durch den Schlauch des Balles in die Gondel reichenden Schnur vom Luftschiffer geöffnet werden kann. Soll der Ballon sinken, so öffnet der Luftfahrer die Klappe, alsbald entweicht einiges Gas aus dem Ballon, derselbe nimmt einen kleineren Raum als vorher ein, verdrängt folglich einen geringeren Theil der Atmosphäre aus der Stelle, und da er selbst an Schwere verhältnißmäßig weniger verloren hat, so sinkt er herab. Je höher der Ballon in der Luft aufsteigt, desto geringer wird der Druck der Atmosphäre gegen seine Wände, desto mehr dehnt sich folglich das Wasserstoffgas im Innern des Balles aus, und der Luftfahrer muß endlich die Klappe öffnen, wenn der Ball nicht zerplatzen soll. Die Charlièren werden des zuletzt erwähnten Umstandes wegen, von Anfang an niemals ganz gefüllt, damit sich das Gas eine Zeitlang ausdehnen, ehe die Gefahr des Platzens eintritt. Durch das Auswerfen des Ballastes also kann der Luftfahrer den Ballon steigen, durch Oeffnen der Klappe ihn sinken lassen, und so kann er es durch gehörige Regelung beider Manöver dahin bringen, daß beim endlichen Niedersinken des Balles, dieser an einem passenden gefahrlosen Orte und allmälig, d. h. mit geringer Fallgeschwindigkeit die Erde berühre. Diese Mittel den Ballon steigen und sinken zu machen, haben nur den einen großen Nachtheil, daß sie nicht von unausgesetzter Anwendung sind. Durch jede Oeffnung der Klappe wie durch jedes Auswerfen von Ballast leidet der Luftschiffer einen nicht wieder zu ersetzenden Verlust, und muß daher sehr vorsichtig damit sein. Das Gas zur Füllung des Ballons wird in der Regel aus Eisenfeile mit verdünnter Schwefelsäure gewonnen. Hierbei werden gewöhnlich auf 1 Kubikfuß Gas im Mittel 4 Unzen Eisenfeile, 6 Unzen Vitriolöl und 18 Unzen Wasser gerechnet; oder 4,5 Unzen Eisen, eben so viel Vitriolöl und 22,5 Unzen Wasser; oder 6 Unzen Zink, gleichviel Vitriolöl und 30 Unzen Wasser. Das Eisen wendet man besser in Stücken als in Gestalt von Feile an, weil diese sich leicht zusammenballt und zu große Hitze entwickelt. Statt des Wasserstoffgases hat man sich auch des Steinkohlengases bedient. Es ist viel weniger kostbar als Wasserstoffgas, aber schwerer als dieses. Während Wasserstoffgas etwa $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{10}$ so viel als ein gleiches Volumen atmosphärischer Luft wiegt, ist für Steinkohlengas dieses Verhältniß $= \frac{1}{4}$.

Da ein Luftballon sich nur dann erhebt, wenn sein Gewicht kleiner ist als ein dem seinen gleiches Volumen atmosphärischer Luft, so kann man nicht aus jeder Substanz Bälle von beliebiger Größe machen. Die Inhalte verschiedener Kugeln verhalten sich wie die Cuben der Durchmesser, die Oberflächen nur wie Quadrate der Durchmesser. Die Oberfläche einer Kugel nimmt also bei weitem

nicht in dem Maße mit dem Radius zu, wie der Kubikinhalt. Da nun der Ueberschuß des Gewichtes zwischen dem des ganzen Ballons und dem eines gleich großen Volumens Luft angiebt, welche Grenze des Gewichts die Masse des Ballons und alles was er an Last zu tragen hat, noch nicht erreichen darf, wenn der Ballon steigen soll, so ergiebt sich hieraus: 1) daß in Bezug auf jeden zu wählenden Stoff ein gewisser Durchmesser des Ballons der möglich kleinste ist, nämlich der, bei welchem das Gewicht des nöthigen Stoffes nur eben noch kleiner als jene Differenz ist, und 2) daß jeder Ballon, aus welchem Stoffe er auch bestehen mag, eine um so größere Last in die Höhe zu heben vermag, je größer sein Durchmesser ist. Die kleinsten Charlièren hat man aus Schafhäutchen verfertigt. Diese werden beim Lammen der Schafe erhalten, über mit Unschlitt bestrichene Formen gespannt und durch ihren eigenen Leim zusammengeklebt. Auf diese Weise kann man kleine Ballons von 3 — 36 Zoll Durchmesser herstellen, welche natürlich nur zur Belustigung dienen können. Aehnliche Ballons werden auch aus Goldschlägerhaut verfertigt; dieselben müssen wenigstens 6 Zoll im Durchmesser haben. Die Goldschlägerhaut wird aus dem Innern des Dickdarms von Ochsen gewonnen. Man läßt die Därme in Wasser etwas maceriren, zieht dann die innere Haut ab, spannt sie auf, reinigt sie vom Fett, reibt sie mit Bimstein ab und überzieht sie zum Schlagen des Goldes mit Firniß.

Die kleinsten Montgolfièren kann man aus der Matte der Elsenraupe bereiten. Hauptmann von Hebenstreit läßt die Elsenraupen ihre Matten in allen möglichen Formen und auch als Montgolfièren weben. Diese sind ohne Naht, zwei bis drei Fuß hoch und von 2 bis $2^1/_2$ Fuß oberem Durchmesser, unten durch einen dünnen Fischbeinstreifen aufgespannt und können durch einen angezündeten Fidibus zum Steigen gebracht werden. Man verfertigt auch kleine Montgolfièren von Papier, welche unten eine Oeffnung haben, in der ein Draht angebracht ist, an welchen ein Büschel in Spiritus getränkter Baumwolle befestigt wird. Zündet man den Spiritus nachher an, so wird die Luft im Ballon verdünnt und ausgedehnt, und derselbe erhebt sich in die Luft. Die größeren Montgolfièren sind aus Leinwand verfertigt und inwendig mit Papier ausgefüttert worden. Um sie gegen das Verbrennen zu schützen, werden sie inwendig mit einer Erdfarbe überstrichen oder vorher in einer Auflösung von Salmiak und Kalk eingeweicht; äußerlich überzieht man sie mit Oelfarbe, um sie vor Zerstörung durch den Regen zu schützen. Die Montgolfièren haben unterhalb ebenfalls eine Oeffnung, an welche ein Hals von einigen Fuß Höhe angenäht ist. Statt der Gondel ist unterhalb eine aus Weiden geflochtene Gallerie angebracht, die mit der inneren Seite an den Hals befestigt wird und nach außen an Seilen hängt, deren Enden an das den oberen Theil des Ballons bedeckende Netz geknüpft sind. Ungefähr ein Fuß über dem unteren Rande ist inwendig eine Gluthpfanne mit eisernen Stäben, die etwa 0,3 des inneren Raumes des Halses einnimmt, oder eine blechene Flasche mit Weingeistlampen an Ketten aufgehängt und im Schlauche sind Einschnitte angebracht, damit das Feuer durch sie von den Luftschiffern regiert werden kann. So wie nämlich die Hitze verstärkt wird, wird der Ballon zum Steigen bestimmt und durch Verminderung der Hitze zum Sinken. Man hat besondere Vorrichtungen angebracht, um eine beliebige Anzahl der Weingeistlampen nach Bedürfniß auslöschen oder anzünden zu können. Auf diese Weise lassen sich die Montgolfièren bei weitem bequemer als die Charlièren in Bezug auf Steigen und

Sinken regieren. Auch kommt es bei den Montgolfièren weniger als bei den Charlièren darauf an, daß der Ballon luftdicht ist, weil der Wärmeverlust, den sie erleiden, sogleich wieder ersetzt werden kann, während der Luftschiffer bei einer Reise mit einer Charlière das einmal entwichene Gas nicht wieder ersetzen kann. Um größere Montgolfièren zu füllen, wird ein eigenes Gerüst gebaut, mit einem etliche Fuß über dasselbe hervorragenden und etwas engeren Schornsteine, als der Hals der Montgolfière ist. Der Rand des Halses wird dann auf das Gerüst gelegt, die zusammengefaltete Maschine mit einem Seile durch Hülfe einer an aufgerichteten hohen Bäumen befestigten Rolle oder eines Flaschenzuges in die Höhe gezogen; dann wird auf einem Roste unter dem Schornsteine ein leichtes und wenig Rauch gebendes Feuer angezündet, so daß die erhitzte Luft in dem Halse der Montgolfière aufsteigt und diese anschwellt. Ist dieses hinlänglich geschehen, so wird sie etwas seitwärts geschoben, die Aëronauten besteigen mit den erforderlichen Geräthschaften die Gallerie, zünden so viele Lampen an, als sie nöthig glauben, und steigen so in die Höhe.

Es wurde schon oben erwähnt, daß sich der Graf Zambeccari einer Maschine bediente, welche aus einer Charlière und einer Montgolfière zusammengesetzt war, und die man eine Carolo-Montgolfière nennen kann. Die Charlière hatte 39′ 9″ Durchmesser und war unten mit zwei Schläuchen zum Füllen versehen. Ueber der oberen Hälfte lag ein starkes Netz von 128 Maschen und lief von der Mitte aus durch vier kleinere Reihen vermindernd herab, bis sich die letzten in 16 Punkten endigten, an denen eben so viele Stricke hingen, und sich unten in einen 4,25 Fuß weiten Ring endigten. In dem zwischen ihnen befindlichen conischen Raume war die Montgolfière angebracht, eine Art Sack, gleichfalls aus Seidenzeug, welcher am Boden 22,6 Fuß Durchmesser und 15,9 Fuß Höhe hatte. Von einem Flaschenzuge unter dem Ballon ging eine Kette durch den Boden der Montgolfière und trug eine an drei Armen hängende Weingeistlampe in Gestalt eines Ringes von 1 Fuß innerem Durchmesser mit 32 Klappen, wodurch eben so viele Flammen ausgelöscht oder entzündet werden konnten. Sie faßte 24 Pfund Weingeist und konnte heraufgezogen und herabgelassen werden. Am Ringe unter der Montgolfière war die Gallerie für die Aëronauten angebracht, aus drei starken Reifen von Buchenholz, welche durch 16 gleich weit entfernte Stricke an einander befestigt waren. Der unterste Reifen war doppelt und trug ein Gitter von zolldicken Stäben als Boden, in welchem ein 21 Zoll weiter, nachher mit einem Netze bedeckter Ausschnitt zum Einsteigen gelassen war. Das Gesammtgewicht der Maschine und alles dessen, was sie trug, war 1984 Pfund.

Um die Steigkraft des Ballons zu bestimmen, diene folgende Betrachtung. Es sei die Gestalt des Ballons eine kugelförmige, die etwa vorkommende Abweichung wollen wir außer Betracht lassen; es sei d der Durchmesser dieser Kugel, p sei das Gewicht einer Raumeinheit atmosphärischer Luft an der Erdoberfläche genommen, q das Gewicht der Raumeinheit der Luftart, mit welcher der Ballon gefüllt ist, b sei das Gewicht von einem Quadratfuß des Stoffes, aus dem der Ballon gefertigt ist, und P sei das Gewicht aller der schweren Massen, welche der Ballon heben soll, also der Schnure, der Gondel, Aëronauten und der von ihm mitgenommenen Dinge. Der Körperraum des Ballons ist also $\frac{d^3\pi}{6}$, das

Gewicht der verdrängten Luft ist $\frac{d^3 p \pi}{6}$, das der eingeschlossenen $\frac{d^3 q \pi}{6}$; die Oberfläche des Ballons ist $d^2 \pi$, also das Gewicht der Hülle ist $d^2 b \pi$. Das absolute Gewicht des Aërostaten ist demnach $\frac{d^3 q \pi}{6} + d^2 b \pi + P$; dieses Gewicht muß kleiner sein als das Gewicht der verdrängten Luft, der Ueberschuß giebt die Steigkraft k an; diese ist also:

$$k = \frac{d^3 (p - q) \pi}{6} - d^2 b \pi - P.$$

Diese Formel sagt, daß die Steigkraft eines Ballons um so größer ist, je größer d und je kleiner q, b und P ist, d. h. je größer der Durchmesser des Ballons und je leichter die zur Füllung desselben benutzte Luftart und je geringer das Gewicht, das gehoben werden soll, ist.

In der Regel ist q, b und P gegeben und man soll d angeben. Soll der Ballon blos sich selbst heben, indem man ihm keinerlei Nebenlast anhängen will, so ist P = 0, und es muß dann, — damit der Ballon den Erdboden verläßt, folgendes Verhältniß stattfinden:

$$\frac{d^3 (p - q) \pi}{6} > d^2 b \pi, \text{ oder } d > \frac{6 b}{p - q}.$$

Wir wollen nun weiter annehmen, es sei für gewöhnlichen ungereinigten Wasserstoff $q = \frac{1}{7} p$, für Steinkohlengas $q = \frac{1}{4} p$ und für erhitzte Luft $q = \frac{2}{3} p$, so daß eine Erwärmung der Luft um etwa 93° C. vorausgesetzt wird; setzen wir nun weiter für gewöhnliche feuchte atmosphärische Luft $p = 2^1/_2$ Loth, so ergeben sich folgende Grenzwerthe:

	Wasserstoff,	Steinkohlengas,	erwärmte Luft.
d >	2,8 b	3,2 b	7,2 b.

Hierbei muß b in Lothen ausgedrückt sein, und es wird d in Fußen gefunden.

Ist nun das Gewicht eines Quadratfußes von Seidenpapier 0,15 Loth, von Postpapier 0,28 Loth, von Zeichenpapier 0,7 Loth, von Wachstaffet 1 Loth, von Kartenpapier 1,35 Loth und von Kupferblech in 0,1 Linie Dicke 13 Loth, so folgt hieraus folgende Tafel über den kleinsten Durchmesser des Aërostaten in Fußen:

Stoff für die Hülle	Wasserstoff	Steinkohlengas	Erwärmte Luft
Seidenpapier	0,42	0,48	1,08
Postpapier	0,784	0,896	2,296
Zeichenpapier	1,96	2,24	5,04
Wachstaffet.	2,8	3,2	7,2
Kartenpapier	3,78	4,32	9,72
Kupferblech zu $^1/_{10}$ Linie .	36,4	41,6	93,6

Ist der Durchmesser und die Steigkraft gegeben, so kann man leicht die Größe der Nebenlast angeben. Ein mit Wasserstoff gefüllter Ballon von Wachstaffet habe einen Durchmesser von 30′ und soll bei einer anfänglichen Füllung von $^3/_4$ seines Inhaltes noch eine Steigkraft von 30 Pfund besitzen; wie groß kann die Nebenlast sein?

Es ist $$P = \frac{d^3 (p - q) \pi}{6} - d^2 h \pi - k;$$

Da die Füllung nur $^3/_4$ des Kugelinhaltes einnimmt, so muß das erste Glied dieses Werthes mit $^3/_4$ multiplicirt werden; es ist also:

$$P = \frac{d^3 (p - q) \pi}{8} - d^2 b \pi - k.$$

Es ist $d = 30$, $p = 2^1/_2$ Loth, $q = \frac{1}{7}\,p$, $b = 1$ Loth und $k =$ 30 Pfund; also

$P = 709{,}8 - 88{,}3 - 30 = 591{,}5$ Pfund; so groß kann also die Nebenlast sein.

Aus nachfolgender Tabelle erkennt man die nach obiger Formel berechnete Steigkraft eines von Wachstaffet angefertigten Ballons, wenn derselbe mit Wasserstoff oder Steinkohlengas gefüllt und die Füllung entweder vollständig oder nur zu $^3/_4$ des Volumens veranstaltet ist. Der Ballon ist dabei ohne alle Nebenlast gedacht. Die Tabelle dient daher auch, um erkennen zu lassen, wie stark ein gewisser Ballon mit Nebenlast beschwert werden kann, um überhaupt noch steigen zu können.

Durchmesser	Vollständig gefüllt mit		Zu $^3/_4$ des Volumens gefüllt	
	Wasserstoff	Steinkohlengas	Wasserstoff	Steinkohlengas
5′	1,9	1,4	0,8	0,4
10′	25,2	20,9	16,5	13,2
15′	96,2	81,5	66,7	55,6
20′	241,3	206,2	171,1	144,8
25′	486,4	418	349,5	298,1
30′	858,2	739,8	621,5	532,8
40′	2087	1806,4	1526	1315,6
50′	4137	3590	3041	2630

Die Gesammtsteigkraft ist in Pfunden angegeben.

Aus der Steigkraft eines Ballons und seinem Gewichte läßt sich nun auch die Beschleunigung finden, mit welcher er aufsteigt. Nach einer bekannten Regel der Dynamik erhält ein Körper vom Gewicht Q, wenn er durch eine Kraft K in Bewegung gesetzt wird, eine Beschleunigung $\frac{K}{Q}\,g$, wenn g die bekannte Beschleunigung der Schwerkraft bezeichnet. In unserem Falle ist

$$K = \frac{d^3(p-q)\pi}{6} - d^2 b\pi - P, \text{ und } Q = \frac{d^3 q\pi}{6} + d^2 b\pi + P;$$

folglich ist die Beschleunigung

$$\frac{d^3(p-q)\pi - 6d^2 b\pi - 6P}{d^3 q\pi + 6d^2 b\pi + 6P}\, g.$$

In dem zuletzt angenommenen Beispiel, wenn die Nebenlast wirklich 591,5 Pfund beträgt, ist das Gesammtgewicht des Ballons 591,5 + 88,3 + 118,3 = 798,1 Pfund. Danach ist die Beschleunigung der aufsteigenden Bewegung anfangs $\frac{30}{798,1} \cdot 31,25 = 1,17'$. Die aufsteigende Bewegung des Aërostaten ist keine gleichförmig beschleunigte, sondern bei zunehmender Geschwindigkeit der Bewegung steigert sich der Luftwiderstand, bis derselbe gleich der Steigkraft wird, später aber nimmt auch die Steigkraft ab, so daß die Bewegung, nachdem sie das Maximum der Geschwindigkeit erreicht hat und eine Zeitlang gleichförmig gewesen ist, allmälig langsamer wird und zuletzt verschwindet. Das Maximum der Geschwindigkeit könnte man durch die Betrachtung finden, daß in diesem Falle der Luftwiderstand gleich der Steigkraft sein muß. Bezeichnen wir mit k den Luftwiderstand gegen eine ebene Fläche von 1 Quadratfuß bei einer Geschwindigkeit von 1', so ist der Widerstand gegen eine ebene Fläche f bei der Geschwindigkeit v annähernd = fkv^2, gehört aber die Fläche f einer Kugel an, d. h. ist sie die vordere Fläche einer Kugel, so ist dieser Widerstand $= \frac{2}{5} fkv^2$. Setzt man diesen Widerstand gleich der Steigkraft K, so folgt:

$v = \sqrt{\frac{5K}{2fk}}$, in unserem Falle ist $f = \frac{1}{2} d^2\pi$, also ist:

$v = \sqrt{\frac{5K}{d^2\pi k}}$. Setzen wir für k den Werth 0,00162, so erhalten wir in Anwendung auf das oben gewählte Beispiel, wo K = 30, und d = 30 ist:

$v = 5,72$. Der Ballon kann also keine größere Geschwindigkeit als etwa 6' annehmen.

Steigt der anfangs nicht vollständig gefüllte Ballon, so dehnt sich bei den Charlièren das im Ballon eingeschlossene Gas aus in demselben Maße, als die äußere atmosphärische Luft dünner wird; das Verhältniß von p und q bleibt dasselbe, obwohl die absoluten Werthe geringer werden, da aber im gleichen Verhältniß das Volumen des Ballons zunimmt, so bleibt bis zur vollständigen Aufblähung die Steigkraft unverändert, ja sie wird sogar etwas wachsen, da in der Regel die obere atmosphärische Luft kälter als die untere ist, das in den Ballon eingeschlossene Gas aber seine ursprüngliche Wärme nicht sogleich verliert; nur indem der Ballon in Folge einer nicht ganz zu beseitigenden Porosität Gas verliert, kann schon in der ersten Periode die Steigkraft geringer werden. Nach der vollendeten Aufblähung muß die Steigkraft immer mehr abnehmen, denn je dünner die atmosphärische Luft ist, in welcher sich der Ballon befindet, desto geringer muß der Ueberschuß des Gewichts einer dem Ballon gleichen

Luftmenge über das Gewicht des eingeschlossenen Gases sein. Wird mit Hülfe des Ventils Gas aus dem Ballon ausgelassen, so kann die Wirkung doppelter Art sein.

Steigt der aufgeblähte Ballon noch weiter, so wird die Spannung des eingeschlossenen Gases allmälig größer als die der äußeren Luft und es tritt die Gefahr ein, daß der Ballon zerplatzt; diese Gefahr kann man durch Herauslassen von so viel Gas beseitigen, bis Spannungsgleichheit erzielt ist. Da dieser Gasverlust den Ballon erleichtert, ohne sein Volumen zu vermindern, so muß dadurch die Steigkraft, wenn auch nur um ein sehr Geringes, vermehrt werden. Wird aber noch mehr Gas ausgelassen, so wird der Ballon durch den Zug der daran hängenden Nebenlast zusammengedrückt, seine Steigkraft wird geringer, und zuletzt wird er sinken. Hat einmal das Gesammtgewicht des Aërostaten das Uebergewicht bekommen über den Auftrieb der Atmosphäre, so bleibt der Ballon im Sinken, denn obwohl er in immer dichtere Luft hinabsinkt, die tragfähiger ist, so wird doch im gleichen Verhältniß sein Volumen geringer. Hieraus folgt auch, daß die Kraft, welche ihn hinabtreibt, im Allgemeinen unveränderlich sein wird, und daß er in Folge des Luftwiderstandes bald eine gleichförmige Bewegung annehmen muß, deren Geschwindigkeit im Verhältniß mit der abwärtstreibenden Kraft stehen wird. Da diese wiederum abhängig sein wird von der Menge des ausgelassenen Gases, so folgt, daß es ganz in die Hand des Aëronauten gegeben ist, mit welcher Geschwindigkeit er sich aus seiner Höhe herablassen will. Eine Unterbrechung des Sinkens und ein abermaliges Steigen ist nur durch Verminderung des Gesammtgewichts — etwa durch Auswerfen von Ballast möglich. Die Rechnung wird diese Betrachtung noch näher bestimmen.

Bezeichnet n den Bruchtheil des Ballonvolumens, bis zu welchem die ursprüngliche Füllung vor sich geht, so ändert sich danach die obige Formel für K, welche die vollständige Füllung voraussetzt, folgendermaßen ab:

$$K = \frac{n\, d^3 (p - q) \pi}{6} - d^2 b \pi - P.$$

Der Ballon wird dann vollständig aufgeblasen sein, wenn er sich in einer Höhe befindet, in welcher die Luftdichte und also auch die Barometerhöhe das n fache der Luftdichte oder Barometerhöhe des Ausgangsortes beträgt. Die Höhe h dieses Punktes wird sich also ergeben aus der Gleichung:

$$h = \frac{B}{D} \log \text{nat.} \frac{1}{n},$$

in welcher B die Barometerhöhe und D die Dichte der Luft am Ausgangsorte bezeichnet, letztere bezogen auf die Barometerflüssigkeit. Nehmen wir nun an, daß beim weiteren Steigen des Ballons stets so viel Gas herausgelassen wird, als zur Herstellung des Gleichgewichts der Luftspannungen nothwendig ist, und nehmen die p und q beim höchsten Stande des Ballons die Werthe p' und q' an, so folgt, weil hier die Steigkraft verschwinden muß:

$$\frac{d^3 (p' - q') \pi}{6} = d^2 b \pi + P, \quad \text{oder} \quad p' - q' = \frac{6 (d^2 b \pi + P)}{d^3 \pi};$$

das Verhältniß der Luftverdünnung ist demnach:

$\frac{p'-q'}{p-q} = \frac{6(d^2 b \pi + P)}{d^3 \pi (p-q)}$, und die Höhe H, zu welcher sich der Ballon überhaupt zu heben vermag, wird sein:

$$H = \frac{B}{D} \log \text{ nat } \frac{d^3 \pi (p-q)}{6(d^2 b \pi + P)}.$$

Wollte man jedoch annehmen, der Ballon wäre aus so starkem Zeuge bereitet, daß er die steigende Spannung des eingeschlossenen Gases ertragen könnte, und daß von diesem kein Abfluß erfolgte, so bleibt das Gewicht der eingeschlossenen Luftart unverändert $\frac{n d^3 q \pi}{6}$, und für die größte Höhe des Ballons besteht die Bedingungsgleichung:

$$\frac{d^3 p' \pi}{6} = \frac{n d^3 q \pi}{6} + d^2 b \pi + P, \text{ oder}$$

$p' = \frac{n d^3 q \pi + 6 d^2 b \pi + 6 P}{d^3 \pi}$, und für die Höhe selbst ergiebt sich dann:

$$H' = \frac{B}{D} \log \text{ nat } \frac{p}{p'} = \frac{B}{D} \log \text{ nat } \frac{d^3 p \pi}{n d^3 q \pi + 6 d^2 b \pi + 6 P}.$$

Der Werth H' wird etwas kleiner sein als H.

Ist B als Barometerstand an dem Aufsteigungsorte des Ballons $= 28''$, $= 2^1/_3{}'$, D aber $= \frac{1}{13{,}6 \cdot 770}$, so ist $\frac{B}{D} = 2^1/_3 \cdot 13{,}6 \cdot 770 = 24435$. In unserem oben angenommenen Beispiele war der Ballon ursprünglich zu $^3/_4$ gefüllt, es ist also $n = ^3/_4$ und $\frac{1}{n} = ^4/_3$, und wir erhalten:

$h = 7030'$, $H = 8085'$, $H' = 7874'$.

Die Formeln für H und H' zeigen noch, daß sie größere Werthe liefern, wenn P kleiner wird, daß also durch Auswerfen von Ballast eine größere Steighöhe erzielt wird.

Es bleibt uns hier noch übrig, aus den oben entwickelten Formeln die auffallende Erscheinung zu erklären, warum ein Luftballon, nachdem man ihn durch Ausströmenlassen von Gas zum Sinken gebracht hat, so daß er den Erdboden erreicht, durch Verminderung der Nebenlast, etwa durch Aussteigen eines Luftschiffers, die Fähigkeit erhält, sich höher als zuvor zu erheben.

Diese Erscheinung erklärt die obige Formel für H; diese zeigt nämlich, daß die Höhe, bis zu welcher sich der Ballon erheben kann, unabhängig von der Menge des eingeschlossenen Gases — sofern dieses ihm nur Steigkraft ertheilt — dagegen vorzugsweise abhängig ist von der Größe der mitgenommenen Nebenlast. Wählen wir hier wieder ein Zahlenbeispiel, indem wir uns dem bereits oben angenommenen Beispiel wieder anschließen. Der Aëronaut, welcher unseren 30fußigen Luftball führt, soll so viel Gas haben ausströmen lassen, daß der Aërostat dadurch eine relative Schwere von 20 Pfund erhält. Der Luftball sinkt nun zu Boden, hier steigt ein Genosse des Luftschiffers aus und erleichtert die Gondel um 120 Pfund. Wie hoch wird sich jetzt der Luftball wieder heben?

Da die Nebenlast um 120 Pfund geringer wird, so erhält der Ball wieder eine Steigkraft von 120 — 20 = 100 Pfund; mit einer dieser Steigkraft entsprechenden Geschwindigkeit erhebt er sich und erlangt eine Höhe, welche aus der Formel

$$H = \frac{B}{D} \log.\text{nat} \frac{d^3 \pi (p - q)}{6 (d^2 b \pi + P)}$$

gefunden wird, wenn wir in derselben für P nicht den früheren Werth 591,5 Pfd. setzen, sondern 591,5 — 120 = 471,5 Pfd. Die Rechnung liefert den Werth H = 12830′. Der Ballon erhebt sich also jetzt um mehr als die Hälfte höher als vorher.

Es versteht sich von selbst, daß die gewonnenen Rechnungsresultate nur die allgemeinen Werthe enthalten, da wir auf die besonderen Einflüsse, durch welche jene Resultate eine geringe Aenderung erleiden, nicht Rücksicht genommen haben, auf einige Umstände aber, wie den fortlaufenden Verlust von Gas, der durch die nicht absolute Dichtheit des Ballons herbeigeführt wird, nicht Rücksicht nehmen können. Die angestellten Rechnungen betreffen nur die Charlièren, die Bewegung der Montgolfièren läßt sich ihrer Natur nach keiner Rechnung unterwerfen. Es wird hier von der Stärke des Feuers, durch welches die Erwärmung der inneren Luft unterhalten wird, abhängen, ob der Aërostat sich hebt oder senkt, und gerade dieser Umstand bedingt den Vorzug dieser Art von Aërostaten, deren Bewegung mehr in die Willkür und in das Geschick des Luftschiffers gelegt ist. Weitere Folgerungen aus den oben entwickelten Formeln, so wie Erörterungen über die Möglichkeit den Aërostaten zu lenken, siehe in dem Artikel Luftschifffahrtskunde. W. S.

Luftblasen nennt man größere oder kleinere Luftmengen, welche allseitig von einer tropfbaren Flüssigkeit eingeschlossen sind. Man rechnet hierher aber auch diejenigen Blasen, deren Inhalt in ähnlicher Weise andere Gasarten, z. B. Kohlensäure, bilden. Man hat die Luftblasen in zwei Klassen eingetheilt, nämlich in solche, welche von einem dünnen Häutchen tropfbarer Flüssigkeit umgeben sind, und in diejenigen, welche sich in einer Masse irgend einer Flüssigkeit befinden. Zu den ersteren können unter anderen die atmosphärischen Dunstbläschen (s. d. Art. Dunst) und die Seifenblasen gezählt werden. Zur Bildung solcher Luftblasen sind zähe Flüssigkeiten, wie Seifenwasser, Auflösungen von Harzen und Oelen in Alkohol ꝛc. besonders geeignet. Die Blasen, welche innerhalb einer Flüssigkeitsmasse hervortreten, haben gleich jenen meist eine rundliche Gestalt, weil die eingeschlossene Luftmenge sich nach allen Richtungen hin gleichmäßig auszudehnen strebt. Diese Gestalt erleidet aber mehr oder weniger bedeutende Veränderungen, wenn die Blasen gemäß dem Unterschiede ihres specifischen Gewichts von dem der tropfbaren Flüssigkeit und nach dem Grade des Widerstandes in die Höhe steigen. Bei den frei in der Atmosphäre schwebenden Blasen kann eine Verlängerung der letzteren dadurch bewirkt werden, daß eine größere Menge der tropfbaren Flüssigkeit, woraus die Hülle besteht, sich an dem unteren Theile ansammelt. Durch den Widerstand der Luft beim Herabfallen der Blase wird aber diese Verlängerung vermindert und die Blase der Kugelform wieder näher gebracht. Man weiß nun, daß tropfbare Flüssigkeiten atmosphärische Luft und andere Gasarten absorbirt enthalten (s. d. Art. Absorption). Durch Verminderung des Luftdrucks, durch

Temperaturerhöhung und wohl auch schon in geringerem Grade durch mechanische Bewegung wird ein Theil der absorbirten Gase in der Form von Bläschen frei. Hierher gehört das Moussiren verschiedener Getränke, wie der Biere und Mineralwässer. Auch bei vielen chemischen Vorgängen werden Luftblasen in großer Anzahl entwickelt, wenn ein Stoff, wie während der Gährung die Kohlensäure, gasförmig ausgeschieden wird.

Das Aufsteigen der Luftblasen innerhalb einer tropfbaren Flüssigkeit hat Theremin *) analytisch untersucht. An der Oberfläche tritt die Luft aus der tropfbaren Hülle heraus, indem die letztere zerfließt, oder die Bläschen nehmen die Form von Halbkugeln oder sphäroidischen Segmenten an, wenn die Flüssigkeit hinreichend klebrig oder zähe ist. Durch die Berührung solcher Blasen wird die sphärische Form abgeändert, indem an dem Berührungspunkte je zweier Hüllen eine Ebene entsteht, woraus die Form von Polygonen resultirt. Sammelt sich eine große Anzahl von Luftblasen an der Oberfläche einer Flüssigkeit an, so bilden sie durch ihre Berührung den Schaum, der in Folge des vielen weißen Lichts, das von den zahllosen Oberflächen der Bläschen reflectirt wird, bedeutend heller als die Flüssigkeit, und falls diese ungefärbt ist, sehr weiß erscheint. Wenn eine starke Blasenbildung im Innern einer Flüssigkeit stattfindet, so kann die letztere auch ganz die Form des Schaumes annehmen. — Beim Erstarren einer Flüssigkeit, z. B. beim Gefrieren des Wassers, wird die absorbirte oder beigemengte Luft ebenfalls oft in der Form von Blasen entwickelt, und hierbei entstehen denn auch in der erstarrten Masse mit Luft erfüllte Räume, welche häufig röhrenförmig gestaltet sind.

Luftelektricität bezeichnet diejenigen elektrischen Zustände, welche der Atmosphäre als solcher, auch unabhängig von der Erscheinung des Gewitters, zukommen. Die Atmosphäre befindet sich stets in einem bestimmten elektrischen Zustande, welcher sich, zahlreichen Beobachtungen zufolge, vorherrschend als der positiv elektrische erwiesen hat. Die Luftelektricität ist namentlich bei heiterem Wetter stets positiv und erfährt, dem Anscheine nach, im Verlaufe eines Tages (24 Stunden) eine periodische Zu- und Abnahme.

Zu den ältesten Beobachtungen über die Elektricität der Atmosphäre müssen die von de Romas mit dem elektrischen Drachen (s. d. Art.) gerechnet werden. Hierauf folgen die Wahrnehmungen von Le Monnier **), Mazeas ***), Kinnersley ****), Beccaria *****), Romayne †), Henley ††) und Cavallo †††). Genauere Beobachtungen wurden dann von de Sauſ-

*) Crell's Journal für reine und angewandte Mathematik. Th. V. S. 93 und 374.

**) Mém. de Paris. 1752.

***) Phil. Trans. Vol. XLVIII. No. 57.

****) Phil. Trans. Vol. LIII. No. 211.

*****) Lettere dell' elettricismo. Bologna 1758. 4. u. Elettr. artificiale. Torino 1772. Dazu: Osservazione della electricità terrestre atmosferica a cielo sereno. Uebers. in Gilb. Ann. Bd. LI. S. 49.

†) Phil. Trans. Vol. LXII. p. 133.

††) Phil. Trans. Vol. LXII. p. 422.

†††) Vollständige Abhandlung über die Elektricität. Leipzig 1797. Th. I. S. 327.

sure *) angestellt, während Volta **) die Empfindlichkeit der hierher gehörigen Instrumente steigerte. J. Read ***) publicirte eine Beobachtungsreihe, die ein ganzes Jahr (vom Mai 1789 bis Mai 1790) umfaßt. Neuere Beobachtungen über die elektrischen Zustände der Atmosphäre machte in England Grasse ****) und in Frankreich Cotte *****), aber noch vor diesen beobachtete in Deutschland Hammer ******) die Elektricität der Wolken. Genauer wurde die Elektricität der Wolken und atmosphärischen Niederschläge von Heller †) in den Jahren von 1792 bis 1796 beobachtet. Gersdorf ††) verbesserte hiernach die Apparate und stellte mehrjährige Beobachtungen in der Oberlausitz an. Umfassendere Beobachtungen wurden dann namentlich von Schübler †††) angestellt, die von vielen anderen Beobachtern in neuerer Zeit wiederholt und theilweise erweitert worden sind. Wir führen hier an: Weekes ††††), Peltier †††††), Becquerel *†), Sturgeon **†), Duprez ***†), Lamont, Dellmann. Von Wichtigkeit für die Theorie der atmosphärischen Elektricität sind auch verschiedene Versuche von Erman ****†), von denen später noch die Rede sein wird. Saussure stellte zuerst eine Theorie dieser Erscheinungen auf, dann auch in einem gewissen Sinne Erman, Prechtl *****†), gegen welchen letzteren Configliachi †*) auftrat, Becquerel ††*), Peltier und Lamont.

Bevor wir nun auf den Gegenstand selbst näher eingehen, wollen wir uns zunächst mit den Vorrichtungen bekannt machen, welche man gebraucht hat, um die elektrischen Zustände der Atmosphäre zu beobachten. Cavallo †††*) gab zuerst ein ziemlich einfaches Mittel an, um die Elektricität der Atmosphäre aus dem Fenster eines Zimmers zur Wahrnehmung zu bringen. An dem vorderen Ende einer mehrere Fuß langen Stange von Holz wird ein mit Siegellack über-

---

*) Voyages dans les Alpes par Hor. Ben. de Saussure. T. III. Génève 1786. Chap. 28. Deutsch Leipz. 1787. S. 231.

**) Meteorologische Briefe. Aus Brugnatelli's biblioteca fisica di Europa. T. I. Leipzig 1793.

***) Phil. Trans. T. LXXXXI. p. 185. Gren's Journ. Bd. VI. S. 234.

****) Gilbert's Ann. Bd. LI. S. 60.

*****) Journ. de Phys. T. I. Gren's Journ. Bd. III. S. 420.

******) Ephemerides societ. meteor. Palat. T. I. p. 85—87 und Anleitung, Wetterableiter an allen Arten von Gebäuden auf die sicherste Art anzulegen. Offenbach 1786.

†) Gren's neues Journal der Physik. Bd. IV. S. 53.

††) Ueber meine Beobachtungen der atmosphärischen Elektricität rc. Göttingen 1802. Mit 15 Kupfertafeln.

†††) Schweigger's Journ. Bd. III. S. 123, Bd. VIII. S. 21, Bd. IX. S. 347. Bd. XI. S. 337, Bd. XIX. S. 1, Bd. LV. S. 249.

††††) Sturgeon's Annals of Electricité. T. V. p. 89.

†††††) Archives de l'Electricité. T. IV. No. 14. Compt. rend. T. I. p. 95, T. III. p. 145, T. X. p. 712, T. XII. p. 307.

*†) Traité de l'Electricité et du Magn. T. IV. p. 110.

**†) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. 30. T. V. p. 418.

***†) Mém. couronnés et Mém. de sav. Etrang. de l'Acad. Roy. des Sci. et Belles-Lettres de Bruxelles T. XV. 1843. p. 1 ff.

****†) Gilbert's Ann. Bd. XV. S. 385. 502.

*****†) Gehler's Journ. für Chem., Phys. u. Mineral. Bd. VIII. S. 297.

†*) Schweigger's Journ. Bd. II. S. 69.

††*) Pogg. Ann. Bd. XVII. S. 533.

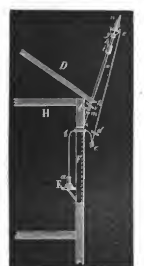
†††*) Vollst. Abhandl. von der Elektrie. Th. I. S. 343.

zogenes Glasstäbchen befestigt, an dessen Ende sich eine Korkkugel befindet. In letztere ist eine Nadel gesteckt, die an einem Bindfaden befestigt ist, dessen zweites Ende der Beobachter in der Hand hält. Soll die Elektrleität der Atmosphäre untersucht werden, so wird der Stab zum Fenster des oberen Stocks eines Hauses hinaus und das andere Ende mit der Kugel so hoch gehalten, daß es mit dem Horizont einen Winkel von 50 bis 60 Grad bildet. Hat das Instrument einige Zeit diese Lage gehabt, so wird die Stecknadel mittelst des Bindfadens aus der vorderen Kugel gezogen und der elektrische Zustand der Kugel mittelst eines Elektroskopes geprüft. Bei Regenwetter brachte Cavallo über dieser Röhre einen kleinen Schirm von Eisenblech an, um jene trocken zu erhalten. Ein ähnliches Verfahren wandte Coulomb an. Eine kleine Metallkugel wurde an das Ende eines Siegellackstäbchens befestigt, welches dieselbe isolirte, und das Stäbchen an das Ende einer 3 bis 6 Fuß langen hölzernen Stange angebracht. Zur Prüfung des elektrischen Zustandes der Atmosphäre wird die Stange in der Luft in die Höhe gehalten und die kleine Kugel auf einen Augenblick mit einem in der Hand gehaltenen Metalldrahte berührt. Hiernach senkt man die Kugel und prüft ihre Elektricität. Bei diesen Vorrichtungen ist also zur Prüfung der Kugel noch ein getrenntes Elektrometer (s. d. Art.) nöthig; man hat aber mit Erfolg den zur Aufnahme der Elektricität dienenden Leiter an dem Elektrometer selbst befestigt. Saussure versah den oberen Punkt seines Elektrometers mit einer Spitze und ließ gewöhnlich den etwa 2 Fuß langen Draht aus mehreren Stücken zusammensetzen, um ihn vermittelst eines Futterales bequem in der Tasche transportiren zu können. Das Elektrometer wurde vor dem Regen durch einen am Glase angebrachten Schirm geschützt. Am vortheilhaftesten ist es nach Volta, auf der Spitze des Elektrometers eine Flamme, etwa eine kleine Weingeistflamme, einen brennenden Schwefelfaden oder ein Stück brennenden Zunders (Schwammes) anzubringen, so daß eine aufsteigende Dampf- oder Rauchsäule gebildet wird. Wenn es regnet, so läßt sich auch eine Laterne mit einem brennenden Lichte auf der Spitze befestigen. Man kann die metallene Spitze auf einer Glasröhre befestigen, die an dem einen Ende eines langen hölzernen Stabes, der auch transportabel eingerichtet werden kann, angebracht ist, und von der Spitze einen Draht zu dem Elektrometer heruntergehen lassen.

Es ist bereits erwähnt worden, daß die Atmosphäre meist positiv elektrisch ist, und zwar, wie späterhin zu erwähnende Versuche gelehrt haben, um so stärker, je höher man sich in ihr erhebt. Ein vertical in der Luft gehaltener isolirter Leiter wird durch Vertheilung elektrisirt, daher wird sein oberes Ende negativ, sein unteres positiv elektrisch. Prüft man nun sein unteres Ende, wie dies bei den aufgerichteten Stangen, beim Drachen und bei den Spitzen nach Saussure und Volta geschieht, so erhält man Anzeigen positiver Elektricität. Die Angaben des Elektrometers geben folglich direct den elektrischen Zustand der Atmosphäre an. Bei den Vorrichtungen dagegen nach Cavallo und Coulomb wird die durch Vertheilung erregte positive Elektricität des unteren Endes des isolirten Leiters nach dem Boden abgeleitet und die Kugel behält den negativ elektrischen Zustand, welchen das Elektrometer anzeigt. Man muß also, um die Elektricität der Atmosphäre kennen zu lernen, die Angaben des Instrumentes umgekehrt nehmen.

Man kann sich bei diesen Vorrichtungen aller Arten von Elektrometer bedienen, am bequemsten zum Transport erschien aber das Volta'sche Strohhalm-

elektrometer, welches man nach Bedürfniß von verschiedener Empfindlichkeit einrichten, und deren verschiedene Exemplare man so herstellen kann, daß ihre Angaben auf einander bezogen werden können. Um auch in den Fällen die Elektricität der Atmosphäre untersuchen zu können, wenn man das Elektrometer nicht sogleich an derselben Stelle beobachten kann, haben sich Volta, Cavallo und Schübler bei ihren Untersuchungen eines einfachen Leidner Fläschchens von dünnem Glase mit 10 bis 12 Quadratzoll innerer Belegung bedient, dessen Zuleiter aus einem 2 Zoll über das Fläschchen herausragenden Metallstifte besteht, auf den durch eine isolirte Handhabe ein Metalldraht von 3 Fuß Länge gesetzt wird, welcher unten spiralförmig gewunden und oben mit einer Flamme versehen ist. Nach Ladung des Fläschchens wird dieser Draht wieder weggenommen. Man kann das Fläschchen in's Zimmer tragen und hier seinen elektrischen Zustand prüfen. Um die Elektricität in einer solchen Flasche längere Zeit zu erhalten, hat Cavallo in den Hals der wie gewöhnlich belegten Flasche eine an beiden Enden offene Glasröhre gekittet, an deren unterem Ende ein kleiner Draht befestigt ist, der mit der inneren Belegung in Verbindung steht. Der Draht mit dem gewöhnlichen Knopfe der Flasche ist in eine andere Glasröhre gekittet, die so dünn ist, daß sie sich in jene erste stecken läßt, aber doppelt so lang als diese. Der den Knopf tragende Draht ragt aus dieser Röhre hervor und kann leicht mit dem ersten die innere Belegung berührenden in Verbindung gesetzt werden. Hat man die Flasche geladen, so wird der Knopf mittelst der dünneren Glasröhre herausgezogen, und die Flasche soll nun ihre Elektricität lange behalten. Wenn man später ihren elektrischen Zustand prüfen will, so steckt man die Röhre mit dem Knopfe wieder hinein und verfährt nun wie gewöhnlich bei der Prüfung der Elektricität einer geladenen Flasche. — Bei nicht sehr empfindlichen Elektrometern ist zur Wahrnehmung der atmosphärischen Elektricität mitunter die Beihülfe eines Condensators nöthig.

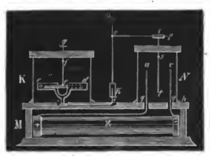


Einen sogenannten stehenden Apparat zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität, der an einem Hause anzubringen ist, hat J. Read *) angegeben. Dieser Apparat soll die verschiedenen Grade der Luftelektricität durch ein Elektrometer und Glockenspiel (elektrisches) anzeigen. Wir geben hier die Beschreibung eines von Romershausen **) construirten Apparates zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität. Die nebenstehende Figur zeigt die Anbringung des Apparates an jeder beliebigen Wohnung und für jedes Stockwerk derselben. H bezeichnet das Haus, D dessen Dach und F irgend ein Fenster des Wohnzimmers eines Beobachters. Die Auffangstange m n ruht oberhalb des Fensters in einem starken eisernen Schuh m und wird, vermittelst eines einzuhängenden Hakens l, in einem Einschnitt k des Daches leicht und sicher befestigt. Diese etwa

*) Phil. Trans. 1791. T. LXXXI. p. 185. Gren's Journ. Th. VI. S. 234.
**) Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 71.

10 bis 12 Fuß lange Stange von lackirtem Tannenholz ist bei i mit einer Messinghülse versehen, in welche der massive, mit Schellack überzogene $1^1/_2$ Fuß lange Glasstab h eingekittet ist. Dieser trägt oberhalb die Auffangevorrichtung g n. An einem 5 Zoll im Durchmesser haltenden flachen Kupferringe e sind im Innern kupferne, galvanisch vergoldete und nach oben fein zugespitzte Auffangedrähte angelöthet, so daß sie etwas nach außen gebogen gleichsam eine Krone bilden. Eine im Durchmesser derselben angebrachte und etwas nach unten gebogene Kupferschiene trägt unterhalb die Hülse g zur Befestigung auf der Glasstange h, und oberhalb ist eine höhere Drahtspitze n eingelöthet. Dieselbe ist vergoldet und ringsum mit den feinsten haarförmigen Platinspitzen umgeben. Der Leitungsdraht d e (von Kupfer) wird bei e an den Kupferring angelöthet, und bei d erhält derselbe ein kleines Dach von Blech, welches den Regen abführt. An den Leitungsdraht d e ist sodann unten bei c eine kleine gut passende Kupferhülse zum Einhaken an die aus dem Zimmer kommende Drahtleitung angelöthet. Der Fensterrahmen ist in der oberen Ecke durchbohrt, um den in einer Glasröhre mit Schellack wohl eingekitteten Leitungsdraht zu befestigen und vollständig isolirt in das Zimmer zu führen. Bei b ist derselbe nach a herabgebogen und mit dem seitwärts vom Fenster und außer der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenstrahlen angebrachten Elektrometer E verbunden.

Die elektrometrische Vorrichtung zeigt beistehende Figur in einem Drittheil der wirklichen Größe und im senkrechten Durchschnitt. In einem Glascylinder K, der in einem auf dem Holzkästchen M angebrachten Metallring ruht, befindet sich das hier breiter gezeichnete Kreuz c d o, welches aus dem feinsten Kupferblech besteht und galvanisch vergoldet ist; seine Breite beträgt nur $^1/_2$ Linie. Unten bei o ist dasselbe an dem in eine Glasröhre eingeschlossenen und mit Schellack in den Cylinder wohl isolirt eingelassenen Leitungsdraht o i angelöthet. An die Flächen der Arme c und d legt sich der an einem Coconfaden f e hängende Wagebalken a diesseits und jenseits in linearer Richtung an. Dieser Wagebalken ist aus unächtem Goldlahn so leicht als möglich gefertigt und in seiner Mitte (auf einer Oberkante) mit einem Tröpfchen Siegellack und etwas Klebwachs an dem Coconfaden e f befestigt. Letzterer ist auf gleiche Weise bei f an den Träger g angeheftet, welcher in einem in einer Metallfassung angebrachten Korke beweglich ruht.



Romershausen bemerkt, daß dieses nach dem Princip der Coulomb'schen Drehwage von ihm construirte Elektrometer das allerempfindlichste sei, da nicht allein die durch i o einströmende Elektricität an den beiden Enden des Kreuzes c und d am wirksamsten auftrete, sondern auch das Bewegungsmoment der Abstoßung den Wagebalken auf seiner ganzen Länge und auf beiden Seiten in gleichem Sinne treffe. Dasselbe sei auch ziemlich vergleichbar, wenn man den Wagebalken zur Beseitigung jeder Torsion eine Zeit lang frei schweben lasse, und den Faden

alsdann denjenigen geringsten Grad der Torsion gebe, welcher den Wagebalken an die Flächen des Kreuzes anlegt.

Man erkennt übrigens leicht, daß dieses Elektrometer im Wesentlichen dieselbe Einrichtung wie das schon früher bekannte Dellmann'sche hat, das wir im Art. Elektrometer beschrieben haben.

Auf der Außenfläche des Glascylinders K ist eine Kreistheilung eingeätzt. Erhält nun das Kreuz durch i o Elektricität, so theilt sich diese dem Wagebalken zum Theil mit, und es erfolgt eine Abstoßung desselben, deren Betrag man vermittelst der Kreistheilung bestimmen kann.

Auf demselben Holzkästchen ist weiter bei N ein gewöhnliches Goldblattelektrometer zur Beobachtung der + oder — Elektricität angebracht. Im Innern des Kästchens liegt die Zambonische Säule Z. An die mit den Polen der Säule metallisch verbundenen Fassungen w und x sind die leitenden und bei q q den Deckel des Kästchens isolirt durchbrechenden Kupferstreifen w q u und x q v angelöthet und s t ist das Goldblättchen, welches bei s mit dem Träger s r verbunden ist. N ist der die Vorrichtung schützende Glascylinder. Die Verbindung des Zuleitungsdrahtes mit dieser elektrometrischen Vorrichtung zeigt die Figur. n ist der in der Fig. S. 687 herabgehende Leiter b a. Derselbe ist unten bei k mit einer auf den von dem Elektrometer K seitwärts laufenden und bei i aufsteigenden Zuleitungsdraht, in vollkommener metallischer Berührung passenden Kupferhülse versehen. Bei o (oben) ist eine Seitenleitung angelöthet, welche eben so bei p in eine gleiche Kupferhülse des Trägers s r eingefügt wird. Diese Verbindung bildet einen vollkommenen Schluß und ist leicht aus einander zu nehmen.

Mit den angegebenen Vorrichtungen kann man sich überzeugen, daß die Atmosphäre fast stets in einem gewissen Grade elektrisch ist. Sie besitzt bei völlig heiterem Himmel stets positive Elektricität, in allen Jahreszeiten und zu allen Tageszeiten, während bei wässerigen Niederschlägen auch häufig negative Elektricität auftritt.

Saussure beobachtete, daß im Winter bei heiterem Wetter die Elektricität von der Zeit an, wo der Thau zu fallen aufgehört hat, bis zum Aufgange der Sonne am schwächsten sei, hierauf allmälig wieder zunehme und früher oder später, fast immer aber vor Mittag, ein Maximum erlange, nachher aber wieder schwächer werde. Erst dann, wenn der Thau zu fallen beginnt, erhebt sie sich wieder, erreicht hier oft eine Stärke, welche weit größer ist, als die, welche sie am Tage gehabt hatte, und nimmt nun bis tief in die Nacht hinein wieder ab. Im Sommer sind diese Perioden weniger deutlich zu erkennen; nur dann, wenn auf regnerische Tage einige heitere folgen, sind die Perioden im Sommer eben so wie im Winter.

Schübler stellte seine Beobachtungen über die täglichen Schwankungen der Luftelektricität (bezüglich ihrer Stärke) in den Thälern des südlichen Deutschlands bei heiterem ruhigem Wetter an, und kam zu folgenden Resultaten.

Bei Sonnenaufgang ist die atmosphärische Elektricität schwach; sie fängt langsam zu steigen an, wenn sich die Sonne mehr über dem Horizont erhebt, während sich gewöhnlich gleichzeitig die in den tieferen Luftschichten entstehenden Dünste vermehren. Gewöhnlich steigt die Elektricität unter diesen Umständen einige Stunden, an den längeren Sommertagen bis gegen 6 oder 7 Uhr, im Frühling oder Herbst oft bis gegen 8 und 9 Uhr, im Winter bis gegen 10 und 11 Uhr. Nach und

nach erreicht sie ihr Maximum. Gleichzeitig sind die unteren Luftschichten oft sehr dunstig, die Luft nimmt an Feuchtigkeit zu, und die Temperatur des Thaupunktes liegt höher als beim Sonnenaufgange, in der kälteren Jahreszeit tritt aber wirklicher Nebel ein. Gewöhnlich bleibt die Elektricität nur kurze Zeit auf diesem Maximum stehen, sie vermindert sich wieder, anfangs schneller, dann aber langsam, meist schneller als sie zuvor stieg. Gleichzeitig vermindern sich die dem Auge sichtbaren Dünste in den unteren Luftschichten; hatten sich Nebel gebildet, so verziehen sich diese, die Atmosphäre wird heiterer, auch entfernte Gegenstände werden dem Auge sichtbar. Gegen 2 Uhr Nachmittags ist die atmosphärische Elektricität gewöhnlich schon sehr schwach, oft nur wenig stärker als in der Frühe kurz nach Sonnenaufgang; sie vermindert sich nun noch langsamer bis einige Stunden vor Sonnenuntergang, im Sommer bis gegen 4 bis 5 und 6 Uhr, im Winter bis gegen 3 Uhr; sie bleibt verhältnißmäßig länger auf ihrem Minimum als auf ihrem Maximum. Sobald sich die Sonne dem Horizonte nähert, fängt sie wieder zu steigen an, mit Untergang der Sonne nimmt sie gewöhnlich sehr merklich zu, steigt nun mit Eintritt der Abenddämmerung immer mehr, und steht gewöhnlich $1^1/_2$ bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang auf ihrem zweiten Maximum. Gleichzeitig bilden sich aufs neue Dünste in den unteren (und wohl auch höheren) Schichten der Atmosphäre; über Thälern, vorzüglich über Städten bilden sich oft große Dunstwolken; die Feuchtigkeit der Luft nimmt schnell zu, es fällt der Abendthau, wobei in Thälern oft eine sehr bemerkbare Abkühlung eintritt. Insgemein ist die Elektricität während ihres zweiten Maximums wieder ungefähr so stark, wie einige Stunden nach Sonnenaufgang. Auch auf diesem zweiten Maximum bleibt sie nur kurze Zeit stehen, sie wird bald wieder schwächer und vermindert sich die Nacht hindurch langsam bis gegen Sonnenaufgang, wo sie mit Tagesanbruch dieselbe Periode wieder beginnt.

Man erkennt, daß zwischen dem Grade des positiv elektrischen Zustandes der Luft und der relativen Feuchtigkeit derselben ein gewisser Zusammenhang stattfindet. Je feuchter die Atmosphäre bei sonst heiterer Witterung ist, desto bemerklicher macht sich ihre positive Elektricität. Die letztere ist im Winter bei gleicher Heiterkeit des Himmels größer als im Sommer.

Romas, welcher Beobachtungen mit dem elektrischen Drachen anstellte, machte die Wahrnehmung, daß die Spannung des Elektrometers bei heiterem Wetter um so bedeutender wurde, je höher sein Drache stieg, und zog hieraus den Schluß, daß die Stärke der positiven Elektricität der Luft mit der Entfernung von der Oberfläche der Erde zunehme. Durch die Annäherung einzelner kleiner weißer Wolken wurde aber eine Schwächung bewirkt. Auch Beccaria und Cavallo fanden die positive Elektricität der Atmosphäre mit wachsender Höhe zunehmend. Dasselbe bemerkte Saussure *) beim Besteigen der Alpen. Zur Ermittelung der positiven Elektricität der höheren Luftschichten gebrauchte Saussure eine durch einen 50 bis 60 Fuß langen Draht am Elektrometer befestigte Bleikugel, welche in die Höhe geschleudert wurde. Becquerel **) und Breschet benutzten zu demselben Zwecke einen langen, feinen Goldlahnfaden, der an dem einen Ende

*) Reise durch die Alpen. Th. III. S. 253, 304. Th. IV. S. 374.

**) Traité de l'Elect. et du Magn. T. IV. p. 110.

mit dem Elektrometer, an dem anderen mit einem Pfeile verbunden war. Der letztere wurde vermittelst eines Bogens abgeschossen, und es zeigte sich nun eine um so stärkere positive Elektricität, je höher der Pfeil sich über der Erde erhob. Daß die Reibung des Pfeiles an den Lufttheilchen nicht die Ursache dieser Elektricität war, ergab sich daraus, daß keine Anzeige derselben stattfand, wenn der Pfeil in einer Höhe von etwa 3 Fuß horizontal über der Erde abgeschossen wurde.

Biot *) und Gay-Lussac hatten bei ihrer Luftreise an dem einen Ende ihrer Gondel einen Metalldraht von 50 Meter Länge aufgehängt, so daß er frei herabhing und durch das Gewicht einer Metallkugel gespannt war. Die am oberen Ende dieses Drahtes angesammelte Elektricität erwies sich am Elektrometer (bei vollkommen heiterer Witterung) als negativ. Das obere Ende war nämlich dem vertheilenden Einfluß der höheren positiv elektrischen Luftschichten ausgesetzt, und mußte in Folge dessen negativ elektrisch werden. Das untere Ende des Drahtes, in sofern es in die Luft hineinragt, erleidet von den unter ihm befindlichen Luftschichten denselben Einfluß, nur in geringerem Grade, so daß an dem oberen Ende jedenfalls ein Ueberschuß an negativer Elektricität auftreten muß. Die von Biot und Gay-Lussac gemachten Wahrnehmungen bestätigen die Zunahme der positiven Elektricität in den oberen Theilen der Atmosphäre.

Schübler **) bemerkte auf einer Reise durch die schweizerischen Alpen ebenfalls die Zunahme der positiven Elektricität mit wachsender Höhe, und zwar um so bedeutender, je weiter man sich von ableitenden Umgebungen, Wäldern, benachbarten Abhängen, Häusern rc. befand.

Gersdorf fand die Elektricität der Luft bei Südstürmen mitunter sehr stark negativ elektrisch, selbst wenn der Himmel dabei hell war. Nach Grosse soll es einen Zustand der Atmosphäre geben, bei welchem die Luft sich am wenigsten elektrisch zeige. Dieser Zustand, der zuweilen bei Nordostwind eintrete, werde für sehr ungesund gehalten, und lasse sich an einem Gefühl von Kälte und Trockenheit erkennen, welches er hervorbringe.

Beccaria, Romayne, Henley, Volta und später auch Saussure, Schübler, Grosse und Gersdorf beobachteten bei Nebeln eine starke positive Elektricität der Luft. Dieselbe ist nach Schübler am stärksten in den kalten Jahreszeiten, wo die Nebel niedriger stehen und dichter sind, als im Sommer. Je dichter der Nebel ist, desto stärker erscheint die Elektricität. Wenn aber aus den Nebeln Regen herabfiel, hat man auch negative Elektricität beobachtet. Aehnliches wurde bei Wolken beobachtet. Schübler kam bei einer Reise durch die Schweizer Alpen öfter in die Wolkenregion, wo er die Elektricität gewöhnlich positiv fand, negativ dagegen, wenn die Wolken zugleich Regen brachten. Die von Saussure und Schübler beobachtete starke positive Elektricität bei Nebeln wird von Kämtz ***) bezweifelt.

Beim Regen beobachtet man ebenfalls fast stets Elektricität, aber sie ist der Art nach sehr verschieden, viel öfter, wie es scheint, jedoch negativ als positiv.

---

*) Lehrbuch der Experimentalphysik, übers. von Fechner. Th. II. S. 291.
**) Schweigger's Journ. Bd. IX. S. 343.
***) Vorlesungen über Meteorologie. S. 400.

Nach Volta ist hierbei der Verlauf der Erscheinungen folgender. Näherten sich die Wolken, so zeigte sich starke positive Elektricität; fielen die ersten Tropfen, so wurde diese schwächer, verschwand endlich und ging darauf in negative Elektricität über, die in wenigen Minuten sehr stark wurde. So dauerte es eine halbe oder ganze Stunde fort. Regnete es aber mehrere Stunden oder ganze Tage hindurch, so wurde auch die negative Elektricität sehr schwach. Nur wenn der Regen etwa auf kurze Zeit zunahm, wurde sie stärker, ging aber in die positive Elektricität über, wenn der Regen auf einige Zeit aufhörte. Nach Foggo ist der Gang bei Regenschauern in England etwas verschieden. So lange nämlich die Wolke in einiger Entfernung von der Stange ist, an welcher die Elektricität beobachtet wird, hat die Luft gewöhnlich positive Elektricität; steht einmal der vorangehende Theil der Wolke über dem Leiter, so verliert sich die Elektricität und wird dann sogar negativ. Dieser Zustand dauert nur eine kleine Weile, geht in den positiv elektrischen über, welcher anhält, bis die Wolke vorüber gegangen ist, wo wieder negative Elektricität hervortritt, die dann durch die positive Elektricität der Atmosphäre verdrängt wird.

Nach Schübler kommt bei Niederschlägen in der Atmosphäre etwa $1^1/_2$ mal so viel negative als positive Elektricität vor. Nach demselben ist auch die Richtung des Windes *) von Einfluß auf die Art der Elektricität. Am häufigsten sollen die Regen positiv elektrisch bei Nordwinden, am häufigsten negativ elektrisch bei Südwinden sein, und zwischen beiden ein allmäliger Uebergang stattfinden. Die Abwechselungen positiver und negativer Elektricität hängen sonst (nach ihm) vorzüglich von Abwechselungen in der Stärke und zum Theil der Aggregation der Niederschläge selbst ab. Die einzelnen Regen zeigen sich gewöhnlich desto stärker elektrisch, je dichter sie sind, oder überhaupt je schneller und je mehr Wasser in derselben Zeit aus Dunstbläschen in die tropfbare Form übergeht.

Grosse fand bei Nebel, Regen, Schnee, Hagel und Graupeln den elektrischen Zustand des von ihm beobachteten Drahtes gewöhnlich negativ, wenn diese Niederschläge anfingen zu erscheinen; hierauf wurde er häufig positiv mit allmäliger Zunahme und Wiederabnahme und mit Uebergang in den entgegengesetzten Zustand alle 3 oder 4 Minuten, und diese Erscheinungen fand er so constant, daß man jedesmal, wenn der Draht negativ elektrisch war, dies als ein sicheres Zeichen ansehen konnte, daß Regen, Schnee, Hagel oder dergleichen in der Nähe des Apparates seien, oder daß eine elektrische Wolke nicht weit von demselben entfernt sei. Dabei fand Grosse die Elektricität während des Regens gewöhnlich negativ.

Schübler **) hat den Einfluß des Gewitters auf den Gang seines Luftelektrometers in zwei besonderen Fällen graphisch zur Darstellung gebracht. Das eine Gewitter zog seitwärts, das andere gerade über dem Zenith vorüber. Nachdem die Elektricität den Tag über schwach positiv gewesen war, fing es gegen 6 Uhr Abends zu regnen an. Die Elektricität des Regens war anhaltend negativ. Gegen 7 Uhr hörte der Regen auf, aber es bedeckten finstere Wolken den Himmel, und am südwestlichen Horizont stieg ein Gewitter auf. Die Elektricität zeigte sich

*) Schweigg. Journ. Bd. Lt. S. 240.
**) Schweigg. Journ. Bd. XI. S. 378.

noch immer negativ, veränderte sich aber mit jedem Blitze plötzlich; die Pendel des Elektrometers näherten sich dem Nullpunkte, gingen jedoch nach jedem Blitze mit negativer Elektricität wieder aus einander. Die letztere veränderte sich mit Annäherung des Gewitters mehr und mehr, und wurde um 7 Uhr bei einem Blitze plötzlich null und schwach positiv. Nach dem Blitze wurde sie aber wieder etwas negativ, um 7 Uhr 18′ ging sie ganz ins Positive über und erreichte ihr Maximum bei der größten Annäherung des Gewitters, nahm hierauf eben so wieder ab und ging zuletzt wieder in die negative über, als es beim Abzuge des Gewitters zu regnen anfing. Als es nach einer halben Stunde zu regnen aufhörte, ging die Luftelektricität wieder langsam in die positive über. In dem zweiten Falle, wo die Luftelektricität wie gewöhnlich von Anfang an positiv war, ging dieselbe unter heftigem Blitze und bald darauf folgendem Donner plötzlich in die negative von beinahe gleicher Stärke über. Zugleich kam ein starker Regenguß. Von diesem Augenblicke an zeigte sich eine entgegengesetzte Ordnung im Steigen und Fallen des Elektrometers. Mit jedem Blitze nahm nun die negative Elektricität zu, wie im vorigen Falle die positive zugenommen hatte. Das Gewitter entfernte sich und damit verminderte sich auch wieder die negative Elektricität; es regnete dabei anhaltend. Nun wurde die Elektricität aufs neue positiv, es erfolgte der letzte Blitz mit + E, worauf plötzlich ein negativ elektrischer Regen fiel, welcher nach einigen Abwechselungen wieder aufhörte. Obgleich nun die negative Elektricität wieder abnahm, so blieb dieselbe doch nach aufhörendem Regen längere Zeit, und erst nach einer halben Stunde trat die gewöhnliche positive Elektricität wieder langsam ein.

Andere Beobachter bemerkten bei dem Vorübergehen eines Gewitters anfangs positive Elektricität, die aber beim Falle der ersten Regentropfen in die negative überging. Diese Elektricität zeigte sich namentlich stark bei Platz- und Gewitterregen, viel weniger stark bei Landregen, die auch öfter mit positiver Elektricität auftreten. Ed. Peeck *) beobachtete in Halle vom Juni bis Decbr. 1852 mehrere Mal, daß sobald Ostwind bei starkem Wind in Südost oder Südwind schnell überging und dadurch der vorher klare Himmel bald mit Wolken bedeckt erschien, die Luftelektricität, welche zuvor positiv war, in negative überging.

An der Münchener Sternwarte wurden Beobachtungen der Luftelektricität vom 1. Mai 1850 bis Ende October 1851 angestellt, die Lamont **) bekannt gemacht hat. Das dabei gebrauchte Elektrometer ist von diesem selbst construirt, und hat einige Aehnlichkeit mit dem Oersted'schen (s. d. Art. Elektrometer). An einem metallenen Träger, der mit einem Coconfaden verbunden ist, hängt eine horizontale Kupfernadel und ein kleiner Magnet. Der Coconfaden ist oben innerhalb einer Metallröhre befestigt, die unten, wo sie in dem Deckel des Elektrometers isolirt befestigt ist, einen viereckigen Bügel aus Kupfer trägt, dessen horizontale Weite etwas größer ist als die Länge der Kupfernadel. Das Elektrometer wird so aufgestellt, daß der Bügel in die Ebene des magnetischen Meridians kommt. Die Kupfernadel wird dann durch den kleinen Magneten in der Ebene des Bügels gehalten, so lange keine elektrische Spannung vorhanden ist. Kommt aber Elektri-

*) Zeitschrift für die ges. Naturw. vom natur. Ver. in Halle 1853. April. Nr. IV. S. 272.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 494.

cität in das erwähnte Metallrohr, welches in die Luft hineinragt, so theilt sie sich dem Bügel und der Nadel mit, und es erfolgt zwischen diesen beiden eine Abstoßung. Die Nadel weicht seitwärts aus, und macht einen Winkel mit der Ebene des Bügels, der als Maß der elektrischen Spannung dient. Unter dem Bügel befindet sich eine Glastafel, worauf eine Kreistheilung verzeichnet ist. Das Elektrometer wird behufs der Ablesung auf ein feststehendes Kästchen gestellt, in welchem ein Spiegel unter einem Winkel von 45° gegen den Horizont, und seitwärts eine Linse angebracht ist von solcher Brennweite, daß man damit im Spiegel ein deutliches Bild der Kreistheilung erhält, und auf dieser Kreistheilung den darüber befindlichen horizontalen Bügeltheil und die Kupfernadel projicirt sieht. (Eine Abbildung dieses Instrumentes befindet sich an dem citirten Orte.) Die elektrische Spannung ist sehr nahe dem Ablenkungswinkel φ der Kupfernadel proportional, so daß man annehmen kann Spannung $\eta = \varphi + F(\varphi)$, wo $F(\varphi)$ eine kleine vom Winkel φ abhängige Correction bedeutet. Um die Excentricität zu eliminiren, müssen beide Enden der Nadel notirt werden, das Mittel gilt als eigentliche Ablesung des Instrumentes. — Die Beobachtungsresultate enthält folgende Tabelle, welche die Spannungen der Luftelektricität zu den bemerkten Zeiten angiebt. Dieselben zeigen, wie man wahrnehmen wird, im Allgemeinen eine merkliche Uebereinstimmung mit den Angaben Schübler's über die Veränderungen der positiven Luftelektricität während des Tages (S. 691 ff.), namentlich auch in Hinsicht auf den ungefähren Eintritt des Maximum und Minimum am Tage.

	Morgens						Abends						
	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h	12^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	Monats-Mittel
1850													
Mai	4,62	4,27	3,94	3,98	3,34	3,08	2,87	3,31	3,12	3,39	3,35	2,96	3,52
Juni	3,35	3,08	3,08	3,56	2,62	2,80	2,66	2,78	2,71	2,86	2,65	2,53	2,89
Juli	3,71	4,00	3,97	3,56	3,80	3,28	2,58	2,90	2,81	3,27	2,44	2,50	3,23
August	4,08	3,79	4,10	3,75	3,95	3,72	3,48	3,51	3,14	3,09	3,21	3,40	3,60
September	3,96	3,63	3,81	3,49	3,25	3,23	2,97	3,10	2,79	2,89	2,62	2,54	3,19
October	5,07	5,63	5,90	6,26	5,93	4,88	4,80	4,20	5,38	5,06	3,22	—	5,12
November	—	5,88	5,83	5,56	5,66	5,51	4,83	4,94	5,10	5,50	—	—	5,42
December	—	6,87	6,01	6,73	7,54	7,20	6,84	6,98	6,71	6,48	—	—	6,82
1851													
Januar	—	5,56	6,60	6,29	6,85	6,34	5,50	5,72	5,41	5,51	—	—	5,95
Februar	—	6,47	6,65	6,26	6,43	5,98	6,10	5,76	5,68	5,24	—	—	6,06
März	5,29	6,90	7,39	5,70	5,30	5,18	5,40	4,96	5,13	4,79	5,04	4,72	5,49
April	3,89	4,71	3,93	3,69	3,24	3,04	3,02	3,11	3,05	3,19	3,37	3,31	3,46
Mai	4,09	3,50	3,53	2,80	2,56	2,56	3,20	2,80	2,86	3,19	2,73	3,06	3,07
Juni	3,48	3,15	3,27	3,04	2,91	3,11	2,66	3,14	2,83	3,20	3,60	2,93	3,11
Juli	3,99	3,58	3,30	3,17	3,50	3,15	3,60	3,09	3,14	3,61	2,72	2,84	3,31
August	5,66	3,90	3,01	2,99	3,14	3,03	2,70	2,96	3,05	2,80	2,74	2,44	3,20
September	3,44	3,41	4,01	4,04	3,19	2,83	3,05	2,87	2,93	3,13	3,55	4,01	3,37
October	3,98	4,76	4,49	3,20	3,54	3,59	3,14	3,07	3,68	3,29	3,39	—	3,65

Die Beobachtungen Dellmann's *) in Kreuznach umfassen zwar keinen sehr langen Zeitraum, verdienen aber wegen der Güte der gebrauchten Vorrichtung,

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 625. Vergl. auch Bd. LXXXVI. S. 524. 536.

namentlich des Elektrometers, und auch sonst volles Zutrauen. Dieselben lehren, in Uebereinstimmung mit den bisherigen Erfahrungen, daß die Luft bei heiterem Wetter fast immer positiv elektrisch ist, dagegen bei Regen, namentlich im Anfange desselben, stark negativ elektrisch. Bei Annäherung eines Gewitters erhielt er, selbst wenn es noch ziemlich fern war, so daß die Wolken desselben noch lange nicht über der Beobachtungsstelle schwebten, die Anzeige negativer Elektricität. Auch die Regentropfen selbst erschienen beim Anfange eines Regens meist negativ elektrisch. Dellmann fand auch Gelegenheit, die Luftelektricität während eines Höhenrauches zu beobachten (s. Art. Höhenrauch Bd. III. S. 854).

Dellmann's Beobachtungen führten rücksichtlich der einzelnen Monate zu folgenden numerischen Werthen.

Monat	Morgens	Nachmittags	Abends	Mittel
Januar . . .	109,3	242,4	156,9	169,5
Februar . . .	113,5	151,0	156,7	140,4
März	127,2	162,2	162,3	150,6
April	137,2	140,3	107,7	128,4
Mai	160,7	79,7	101,8	114,1
Juni	140,2	94,2	122,9	119,1
Juli	135,9	105,0	115,3	118,7
August. . . .	161,6	127,6	158,6	149,3
September. . .	173,2	142,7	146,4	154,1
October . . .	150,4	169,0	169,8	163,1
November . . .	229,8	217,8	230,9	226,2
December . . .	186,6	278,1	220,8	229,2
Mittel	152,3	159,2	154,2	155,2

Wir wollen nun hier noch die bereits citirten Versuche von Erman anführen. Derselbe gebrauchte dabei gewöhnlich ein Blattgoldelektrometer von Weiß, angefertigt nach einer Anleitung von Gersdorf. Die Länge der Goldblättchen beträgt etwa 0,5 Par. Zoll, und der Glascylinder, der sie umgiebt, hat 0,75 Zoll Durchmesser und 1,5 Zoll Höhe. In den abgerundeten elfenbeinernen Deckel, der über dem Cylinder seitwärts nicht vorspringt, ist eine Glasröhre eingekittet, durch welche das Metallstück geht, das an seinem unteren Theile die Goldblättchen trägt und nach oben eine hervorragende Schraubenmutter hat, in welche sich die verschiedenen metallenen Spitzen, welche man dem Elektrometer unter Umständen geben will, einschrauben lassen. Ein solches Elektrometer mit einer Spitze von etwa 3 bis 4 Fuß Länge zeigt, wenn es im freien Felde plötzlich erhöht wird, eine starke Divergenz der Goldblättchen, welche von positiver Elektricität herrührt. Wird es aber dem Boden genähert, so divergirt es mit negativer Elektricität. Eine Bewegung in horizontaler Richtung in einer gewissen Entfernung über dem Boden giebt keine Spur von Elektricität, falls der Boden durchweg eben ist; steigt oder fällt aber der Boden, so giebt das Elektrometer eine sehr merkliche positive Divergenz, wenn es bergan geht, dagegen eine negative, wenn man sich abwärts

bewegt. Schraubt man auf die Spitze des Elektrometers eine Kugel auf, so wird dadurch die augenblickliche Erscheinung der Divergenz beim Auf- und Abwärtsbewegen nicht verhindert, was auch dann nicht geschah, wenn Erman den ganzen Leitungsdraht in eine oben zugeschmolzene Glasröhre steckte. Die positiven und negativen Divergenzen zeigten sich in diesem Falle eben so schnell und stark, als wenn die Spitze des Drahtes in freier Berührung mit der Luft war, so daß also diese Erscheinungen hier nicht von einem Einsaugen der Elektricität aus der umgebenden Luft herrühren können. — An einem feststehenden, längeren durch eine Glasstange isolirten Drahte konnte Erman keine Spur von Luftelektricität wahrnehmen. — Vor dem jedesmaligen Hinauf- oder Hinabbewegen des Elektrometers kann man die gerade vorhandene Divergenz durch ableitende Berührung entfernen, die beschriebenen Erscheinungen bleiben jedoch nicht aus, wenn man auch das Elektrometer vorher nicht mit dem Boden (einen Augenblick) in leitende Verbindung gesetzt hat; die Divergenzen sind nur in diesem Falle etwas schwächer. Erman brachte das Elektrometer auf einem freien und ebenen Felde, auf welchem ein einzelner Baum stand, dem letzteren allmälig in horizontaler Richtung näher. Es stellte sich eine negative Divergenz ein, die mit fortschreitender Annäherung an den Baum zunahm, und mitunter ein Anschlagen der Goldblättchen bewirkte, in dem Augenblick, wo er unter den Baum trat. Diese negative Divergenz blieb auch unverändert dieselbe, so lange das Elektrometer in der Nähe des Baumes blieb. Sobald er sich vom Baume entfernte, wurde die Divergenz geringer und verschwand allmälig ganz. Wenn man das Elektrometer unter dem Baume ableitend berührte und sich dann von diesem entfernte, so entstand eine neue Divergenz, aber die entgegengesetzte, durch positive Elektricität bewirkte. Ein Baum, ein Haus, überhaupt jeder aus dem Erdboden sich erhebende Gegenstand kann als eine Verlängerung des Bodens angesehen werden. Nähert man sich einem Hause, so divergirt das Elektrometer ebenfalls negativ, unter einem Dache dagegen, wo man gewissermaßen Boden über und unter sich hat, verräth sich keine Spur von Elektricität. Wenn über das Zenith des Beobachters eine Wolke zieht, oder wenn Regen, Schnee oder Hagel auf den Ort der Beobachtung fällt, so werden Erscheinungen beobachtet, die den oben betrachteten entgegengesetzt sind. Das Elektrometer divergirt positiv, wenn man es dem Boden nähert, dagegen mit negativer Elektricität, wenn es in die Höhe gehoben wird. Man sieht also, daß Wolken, Schnee, Regen rc. eben so wirken wie ein Baum oder der Boden. Auf Grund aller dieser Erscheinungen, welche Erman als bloße elektrische Vertheilungsphänomene anerkennt, was sie auch ohne Zweifel sind, glaubte derselbe einen eigenthümlichen elektrischen Zustand der Atmosphäre bezweifeln zu können. Die vertheilende Wirkung soll nach ihm vorzugsweise vom Erdboden ausgehen; die speciellere Art und Weise aber, wie jene Erscheinungen durch Vertheilung bewirkt werden, hat er nicht charakterisirt. Bei genauerer Betrachtung weisen gerade seine Versuche auf einen positiv elektrischen Zustand der Atmosphäre hin, der mit wachsender Höhe zunimmt. Von diesem Zustande rührt der vertheilende Einfluß und in Folge dessen auch die positive Divergenz des Elektrometers her, wenn dieses erhoben wird. Es scheinen aber diese Versuche noch mehr anzudeuten, nämlich dies, daß der Boden sich in einem anderen elektrischen Zustande als die Luft befindet, und zwar in dem Zustande sogenannter negativer Elektricität. Wir werden hierauf wieder zurückkommen.

Es waren **Volta** und **Saussure**, welche die Verdampfung des Wassers als die Hauptquelle der positiven Luftelektricität ansahen. Die Wasserdämpfe sollten im Acte ihrer Bildung positive Elektricität annehmen und fortführen, die Flüssigkeit dagegen im negativ elektrischen Zustande zurückbleiben. Später fand **Pouillet**, daß chemisch reines Wasser aus einem Platingefäße verdampft keine Elektricität mit sich fortführt, nur wenn das Wasser, selbst in geringen Mengen, Säure, Alkali oder ein Salz aufgelöst enthält, so zeigt der Dampf aus den sauren und salzigen Lösungen positive, aus den Lösungen der fixen Alkalien negative Elektricität. Da nun das Meerwasser reichlich Salzlösungen enthält, so vermuthete man hier eine reiche Quelle für die positive Elektricität der Atmosphäre. Versuche von **Armstrong**, **Faraday**, **Reich** und **Rieß** (s. d. Art. **Elektricität**) haben indeß dargethan, daß die beim Verdampfungsprocesse vorkommenden Elektricitätserscheinungen ihre Ursache nicht in ihm selbst, sondern vielmehr in der Reibung der von dem Dampfe fortgerissenen Wassertheilchen an den Gefäßwänden haben. Dies lehren auch die Erscheinungen an der Hydroelektrisirmaschine (s. d. Art.). Nach **Pouillet** sollte die Elektricitätsentwickelung bei der Verdampfung jener Lösungen von dem Ausscheiden der Wassertheilchen aus der Verbindung mit den im Wasser gelösten Stoffen herrühren. Aus Versuchen, welche **Gaugain** *) über die Elektricität, die in gewissen Fällen bei der Verdampfung von Salzlösungen auftritt, angestellt hat, folgt ebenfalls, daß man die atmosphärische Elektricität nicht chemischen Ursachen zuschreiben darf, die bei der ruhigen Verdampfung des Meerwassers vor sich gehen sollen; auch nach ihm läßt sich die hier beobachtete Elektricität auf eine Reibung der Wassertheilchen zurückführen. Dessenungeachtet weiß man, daß die Dampfbildung auch ohne Mitwirkung der Reibung von einer Elektricitätsentwickelung begleitet sein kann. Hierüber hat **Buff** **) Versuche angestellt, die allerdings auch zu dem Resultate führen, daß der Proceß der Verdampfung an sich keine bemerkbare Elektricitätserregung zur Folge hat. Dagegen kann der Dampf die Elektricität, welche die Flüssigkeit aus irgend einer anderen Elektricitätsquelle erhalten, annehmen und auch einem condensirenden Elektroskope mittheilen. So werden bekanntlich Wasser und verschiedene andere Flüssigkeiten in Berührung mit Metallen elektrisch erregt. Deshalb können auch die Dämpfe des Wassers, wenn dieses aus einer Metallschale verdampft, die aus dem Contact hervorgegangene Elektricität der Flüssigkeit mit sich fortführen.

Bei **Buff's** Versuchen befand sich nun die zu verdampfende Flüssigkeit in einem Glaskolben, der auf einem Metallgewebe über der Flamme einer Spirituslampe stand. Ein durch eine Glashülle von den aufsteigenden Dämpfen isolirter Metalldraht tauchte in die Flüssigkeit, während ein isolirter Platinstreifen unmittelbar von den aus dem Gefäße tretenden Dämpfen getroffen wurde. Beide Metalle standen gewöhnlich mit den Platten eines Condensators in Verbindung; es konnte aber auch das eine oder andere Metall zur Erde abgeleitet werden.

Wenn man nun beispielsweise einen Zinkdraht ins Wasser taucht, so wird jener negativ, dieses positiv elektrisch, und wenn man die negative Elektricität des Zinks gehörig ableitet, so überträgt sich der positiv elektrische Zustand des Wassers ver-

*) L'Inst. No. 1066. p. 194.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXIX. S. 203.

mittelst der Dämpfe auf den Condensator. Um sich zu überzeugen, daß aus dem Wasser, wenn es mit einem Metall in Berührung ist, selbst bei gewöhnlicher Temperatur Elektricität entweicht, verbinde man die untere Kupferplatte eines Condensators durch einen daran befestigten Kupferdraht leitend mit der Erde, und breite auf der freien Oberfläche der oberen Condensatorplatte, welche aus Zink besteht und auf der Seite eine Handhabe hat, mittelst Löschpapier eine Lage Wasser aus. Nach etwa einer Stunde wird man eine schwache negativ elektrische Ladung der Zinkplatte wahrnehmen. Diese Elektricität beruht also auf einer Contactwirkung und der Dampf bildet nur einen Ableiter derselben. Steht das Wasser nicht mit Körpern in Berührung, durch welche es fortdauernd elektrisch erregt werden kann, so können auch seine Dämpfe nicht elektrisch werden. Hiernach wird durch die in freien Gewässern stattfindende Verdunstung keine positive Elektricität der Luft zugeführt. Wahrscheinlicher ist es dagegen, daß die Gewässer negative Elektricität vermittelst der Dämpfe in der Atmosphäre verbreiten, weil sie als bessere Leiter von der negativen Elektricität aufnehmen, welche auf Grund verschiedener Veranlassungen in der Erde vorhanden ist.

Nach unserer Theorie der elektrischen Erscheinungen (Art. Elektricität) giebt es ein Fluidum (Elektrieum), dessen Elemente um die Massentheilchen aller Körper gruppirt sind, so daß sie dieselben sphärenartig einhüllen. Jeder Körper kann auf diese Weise eine gewisse Quantität von Elektrieum enthalten und sich dabei in einem Zustande befinden, in welchem zwischen den elektrischen Elementen ein stabiles Gleichgewicht besteht. Wird aber diese Quantität vermehrt oder vermindert, so wird auch das elektrische Gleichgewicht gestört. Im ersten Falle, wo das Elektrieum im Körper angehäuft ist, besteht eine stärkere Spannung zwischen den elektrischen Sphären der Massentheilchen oder eine stärkere Repulsion zwischen den elektrischen Elementen selbst, so daß ein Theil der letzteren nach außen strebt, im zweiten Falle sucht der Körper aus der Umgebung, deren elektrischen Sphären nach ihm hindrängen (gleichsam wie die Luft der Atmosphäre nach einem luftverdünnten Raume), so viel Elektrieum aufzunehmen, als zur Wiederherstellung seines gewöhnlichen Zustandes (d. h. des elektrischen Gleichgewichtes) erforderlich ist. Nun ist nach schon angestellten Betrachtungen (Art. Elektricität, Galvanismus, Funke, elektrischer) der sogenannte positiv elektrische Zustand derjenige Zustand eines Körpers, worin dieser weniger Elektrieum, und der sogenannte negative derjenige Zustand, in welchem der Körper mehr Elektrieum als im gewöhnlichen Zustande enthält. Es wird aber jeder Körper, der ein Aggregat mit einander verbundener Massentheilchen ist, in seinem gewöhnlichen Zustande, falls das Elektrieum irgend einmal in ihm angehäuft gewesen ist, noch einen, wenn auch schwachen Rest freien Elektrieums zurückhalten, weil die Repulsion, um derentwillen das Elektrieum den Körper verlassen muß, immer schwächer wird, je mehr der elektrische Zustand des Körpers dem Gleichgewicht mit seiner Umgebung nahe kommt. So wird auch der Erdoberfläche und jedem auf ihr befindlichen Leiter eine elektrische Schicht adhäriren, welche nach oben hin (gegen die elektrischen Sphären der Lufttheilchen) einen Druck ausübt, der natürlich mit wachsender Höhe abnimmt. Die Atmosphäre besteht nun aus einzelnen, nicht chemisch unter einander verbundenen Gastheilchen, um welche die Elemente des Elektrieums ebenfalls in der Form von Sphären gruppirt sind. Diese Gruppirung ist bei der Luft, die unter gewöhnlichen Umständen ein Nichtleiter oder schlechter Leiter ist,

beharrlicher als bei den guten Leitern der Elektricität (s. d. Art. **Leiter der Elektricität**), so daß auch die elektrischen Elemente weniger im Zustande der Repulsion gegen einander sind, und zwar um so weniger, je mehr man sich in der Atmosphäre erhebt, deren Temperatur, wie man weiß, von unten nach oben geringer wird. Wenn nun ein Elektricitätsleiter, z. B. eine zugespitzte Metallstange, welche sich in Hinsicht auf die unteren Schichten der Atmosphäre im elektrischen Gleichgewichtszustande befindet, hoch aufgerichtet wird, so ist dieses Gleichgewicht gestört, weil das Elektricum in den oberen, kälteren und dünneren Luftschichten mehr als in den unteren gebunden ist, so daß die Lufttheilchen dort auch mehr geneigt sind, neues Elektricum um sich zu gruppiren.

Die Metallstange wird deshalb veranlaßt, sich von einem Theil des ihr inwohnenden Elektricums zu befreien, und weil nun dieser Verlust sich fortsetzt bis zum Elektrometer, das mit der Stange in leitender Verbindung ist, so wird es eine sogenannte positive Divergenz anzeigen. Dasselbe würde aber auch dann geschehen, wenn das eigenthümliche Elektricum der Stange blos eine Verschiebung von unten nach oben hin erlitte, oder wenn nur eine Influenzwirkung zwischen ihr und den höheren Luftschichten stattfände. Indem das Elektricum der Stange sich nach der Spitze hinzieht, wird diese negativ, ihr unterer mit dem Elektrometer verbundener Theil positiv elektrisch. Die Capacität der Luft für neues Elektricum nimmt nun von Oben nach Unten hin ab, und daher auch ihr vertheilender Einfluß auf die Metallstange. Um daher mehr Einfluß auf die höher gelegenen Luftschichten zu gewinnen, dient die von der Metallspitze aufsteigende Rauchsäule, oder auch der Wasserdunst, durch welchen zwischen dem Elektrometer und diesen Luftschichten gewissermaßen eine leitende Verbindung hergestellt wird. Durch jene Rauchsäule wird jedenfalls die Influenzwirkung zwischen der Metallstange und den höheren Luftschichten gesteigert werden. Die Luft wirkt also aus dem angegebenen Grunde positiv elektrisch, und zwar um so mehr, je höher man sich in ihr erhebt.

Blicken wir nun hier zurück auf die (S. 695 ff.) beschriebenen **Erman'schen** Versuche, so erkennt man nach dem unmittelbar Vorhergehenden, daß ein mit einem zugespitzten Zuleitungsdraht versehenes Elektrometer, wenn es rasch in der Atmosphäre erhoben wird, positiv divergiren muß. Das rasche Erheben ist hier deshalb von Bedeutung, damit die durch wachsende Vertheilung negativ elektrisirte Spitze des Drahtes keine Zeit gewinnt, sich mit der Luftschicht, worin sie sich gerade befindet, auszugleichen. Beim Erheben des Elektrometers zieht sich das eigene Elektricum des Drahtes nach der Spitze hin, so daß der tiefere mit dem Elektrometer verbundene Theil des Drahtes positiv elektrisch wird. Verbindet man nun den Draht, nachdem seine Spitze eine gewisse Höhe erreicht hat, und während das Elektrometer positiv divergirt, mit der Erde, so nimmt derselbe von dieser so viel Elektricum an, als zur Ausgleichung mit der letzteren und zur Wiederherstellung des gewöhnlichen Zustandes in seinen unteren Theilen erforderlich ist. Damit verschwindet die positive Divergenz des Elektrometers, und wenn dasselbe jetzt, nach aufgehobener Verbindung mit der Erde, rasch abwärts bewegt wird, so wird die Spitze des Drahtes dem vertheilenden Einfluß der höheren Luftschichten entzogen; der Draht ist nun negativ elektrisirt, indem das von der Erde aufgenommene Elektricum in demselben frei wird. Das Elektrometer muß also negativ divergiren. Wenn aber ein wohl isolirtes Elektrometer (von der angegebenen Art)

auch ohne vorgängige leitende Verbindung mit der Erde, gegen die letztere herabbewegt, eine negative Divergenz zeigt, so scheint dies nur von einem vertheilenden Einflusse der Erde herrühren zu können. Die Erde muß dann im Gegensatze zu der atmosphärischen Luft negativ elektrisch sein, was wir als wahrscheinlich bereits hervorgehoben haben. Dasselbe gilt von jedem hervorragenden Leiter, der mit der Erde in Verbindung steht, z. B. von einem Baume. Aber auch eine Wolke müssen wir, falls sie in dem unter ihr befindlichen Elektrometer eine negative Divergenz veranlaßt, als negativ elektrisch betrachten.

Die positive Elektricität der Atmosphäre selbst ist nach der gegebenen Darstellung gewissermaßen ihr natürlich elektrischer Zustand, nämlich hinsichtlich der Erde, welche wir also in Bezug auf die höheren Luftschichten als negativ elektrisch ansehen können. Die (S. 689 ff.) beschriebenen täglichen Maxima und Minima der Luftelektricität haben wir aber nicht sowohl als Zeichen einer wirklichen Zu- und Abnahme derselben, als vielmehr als Hindeutungen auf solche Zustände der Atmosphäre zu betrachten, durch welche ihr an sich wenig veränderlicher positiv elektrischer Zustand mehr oder weniger Einfluß auf unsere Elektricitätsanzeiger gewinnt *).

Der negativ elektrische Zustand der Erde wurde schon früher von Peltier behauptet, und dieser glaubt denselben am größten bei heiterem Wetter gefunden zu haben. Auch nach Lamont **) besitzt die Erde eine gewisse Menge negativer Elektricität. Diese Menge bleibt sich immer gleich, die Vertheilung kann aber zu verschiedenen Zeiten sehr verschieden sein. Die Atmosphäre, d. h. die reine Luft, soll dagegen gar keine Elektricität haben; sie ist unfähig, die Elektricität zu leiten oder zu behalten. Die Gleichheit der negativ elektrischen Spannung an der Erdoberfläche wird durch zwei Umstände modificirt, durch die Erhöhungen und durch die Dünste, die in der Atmosphäre schweben. An jedem über die Ebene erhöhten Punkt ist eine mit der Erhöhung proportional zunehmende elektrische Spannung vorhanden. An Hausdächern, Kirchthürmen, Bergspitzen findet sich die Elektricität stets in größter Menge angehäuft. Was die Dunstmassen betrifft, so sind diese mit der Erde in Berührung, oder von ihr isolirt. Im ersten Falle tritt dasselbe Verhältniß ein, wie bei einem Berge; denjenigen Theil der Erdoberfläche, der mit der Dunstmasse in Berührung steht, verläßt die Elektricität gänzlich und begiebt sich auf die Oberfläche der Dunstmasse. Im zweiten Falle ist in Betracht zu ziehen, daß jeder Körper latente Elektricität in unbestimmten Mengen enthält, die bei Annäherung eines anderen elektrischen Körpers nach bekannten Gesetzen durch Vertheilung (Influenz) frei wird. Wenn man nun mit dem Luftelektrometer eine Beobachtung anstellen will, sagt Lamont, geht man damit auf ein Hausdach oder sonst einen erhöhten und freien Punkt hinaus, stellt das Instrument auf ein hohes Gestell, berührt die Leitstange mit dem Finger, und bringt es dann in einen verschlossenen Raum, etwa in ein Zimmer, wo die Ablesung geschieht. Durch die eben erwähnte Berührung mit dem Finger wird eine leitende Gemeinschaft mit der Erde hergestellt, und es muß unter der Voraussetzung, daß die Atmosphäre

*) Cornelius, die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus &c. S. 98. Leipzig 1855.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 500.

rein ist, die Elektricität, welche immer die höchsten Punkte zu gewinnen sucht, in dem Elektrometer sich ansammeln, und zwar wird die Menge der Höhe proportional sein. Kommt dann das Instrument in einen verschlossenen Raum, wo keine elektrische Spannung stattfinden kann, so äußert sich die im Elektrometer enthaltene und von der Erde aufgenommene Elektricität frei, und zwar als negativ. Wenn man also ein Luftelektrometer mit der Erde verbindet, so verhält sich nach Lamont's Ansicht die Sache ungefähr so, als ob man auf einem isolirten negativ elektrischen Leiter eine Metallspitze befestigt. Die Elektricität des Leiters erfährt dadurch bekanntlich eine andere Anordnung, so daß die elektrische Spannung an der Spitze am größten wird. Untersucht man das Elektrometer, nachdem die erwähnte Berührung aufgehoben ist, so zeigt es den negativ elektrischen Zustand der Erde am Beobachtungsorte an; während es den Anschein gewinnen kann, als ob der negative Zustand des Elektrometers durch Influenz (Vertheilung) von Seiten einer positiv elektrischen Luft erregt worden sei. Nun weiß man aber, daß ein feststehendes, isolirtes, d. h. nicht mit der Erde leitend verbundenes Luftelektrometer bei heiterer Witterung stets positive Elektricität anzeigt. Dies scheint nach Lamont's Ansicht nicht erklärbar zu sein, sondern auf eine besondere Disposition der Atmosphäre hinzudeuten, welche eine Störung des elektrischen Gleichgewichts in dem leitenden Theile des Elektrometers veranlaßt, dergestalt, daß die positive Elektricität dabei frei wird. Eine solche Disposition wird aber mit der Annahme eines positiv elektrischen Zustandes der Atmosphäre (als solcher) zusammenfallen, ein Zustand, welcher im Sinne unserer Theorie eine Verschiebung des eigenen Elektricums der Stange nach oben hin bewirkt, so daß der obere Theil negativ, der untere positiv elektrisch wird. Man hat hier gewissermaßen ein Gegenstück zu der Betrachtung, welche wir (S. 699 ff.) bezüglich der Erman'schen Versuche angestellt haben. Die negative Divergenz des gegen die Erde bewegten Elektrometers erklärt sich aus der Annahme eines positiv elektrischen Zustandes der Luft, falls man das Elektrometer (in einer gewissen Höhe) auf kurze Zeit mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt hat. Dabei kann man die Erde als elektrisch neutral ansehen. Wenn aber auch ein isolirtes Elektrometer (ohne vorgängige Verbindung mit der Erde) eine solche Divergenz zeigt, so kann dies nur von einem vertheilenden Einflusse herrühren, den die Erde als negativ elektrisch ausübt. Umgekehrt erklärt sich die sogenannte positive Luftelektricität, wenn man die Atmosphäre als neutral und die Erde als negativ elektrisch ansieht, aber nur dann, falls man das Elektrometer, wie bei Lamont's Versuchen, auf einen Augenblick mit der Erde leitend verbindet. Die positive Divergenz eines isolirten Luftelektrometers scheint auf einen positiv elektrischen Zustand der Atmosphäre zurückgeführt werden zu müssen. Faßt man Alles zusammen, so ergiebt sich das Resultat, daß Erde und Atmosphäre (als solche) entgegengesetzt elektrisch sind, nämlich jene negativ, diese dagegen positiv elektrisch. — Wolken enthalten nach Lamont eine mäßige Menge negativer Elektricität und vermindern die permanente negative Elektricität der Erdoberfläche. In Gewitterwolken ist meist so viel negative Elektricität enthalten, daß sie, wenn sie in die Nähe kommen, die permanente Elektricität ganz verdrängen und eine mehr oder minder beträchtliche positive Elektricität durch Vertheilung hervorrufen. (Wirkt also eine Gewitterwolke direct vertheilend auf ein Luftelektrometer, so wird die zurückgetriebene freie negative Elektricität eine negative Divergenz bewirken.) Wolken mit positiver

Elektricität sind sehr selten. Becquerel suchte die Erscheinungen der atmosphärischen Elektricität aus den Gesetzen der Thermoelektricität abzuleiten, indem bei der Berührung von kalter und warmer Luft die letztere positiv, die erstere negativ elektrisch werde. Auch Duprez (s. S. 685) betrachtet den positiv elektrischen Zustand der Atmosphäre bei heiterem Wetter als eine Folge des Temperaturwechsels. Man sollte indessen meinen, daß in diesem Falle die positive Elektricität nicht so constant auftreten könnte, und man selbst bei sonst heiterer Witterung öfter Anzeigen negativer Elektricität erhalten müßte. Die aufsteigenden Dämpfe sollen nach Becquerel *) theils positiv, theils negativ sein, wobei er sich auf den negativ elektrischen Zustand der Erde stützt, welche den sie berührenden und von ihr aufsteigenden Stoffen negative Elektricität mittheilen soll. Eine besondere Theorie der elektrischen Erscheinungen der Atmosphäre ist auch von Prechtl aufgestellt worden. Diese Theorie würde in größerer Uebereinstimmung mit den Thatsachen stehen, wenn es ihr geglückt wäre, den thatsächlich gegebenen Gegensatz zwischen der positiven und negativen Elektricität mit Evidenz darzulegen. Ihre Widersprüche mit der Erfahrung hat Configliachi (an dem bereits citirten Orte) aufgezählt.

Da die positive Elektricität der Atmosphäre nach unserer Ansicht keiner besonderen Quelle bedarf, so können wir nur noch fragen, woher die meist negative Elektricität der atmosphärischen Niederschläge rührt **). Der Verdampfungsproceß des Wassers ist oben angeführten Versuchen zufolge gewiß nicht die Ursache des positiv elektrischen Zustandes unserer Atmosphäre; es ist aber möglich, daß derselbe die Quelle der negativen Elektricität ist, welche bei jenen Niederschlägen oft hervortritt. Sowohl Erfahrung als auch Theorie weisen darauf hin, daß fast alle Formveränderungen der Körper von elektrischen Erscheinungen begleitet sind. Wenn die Elemente des Elektricums um die Massentheilchen der Materie Sphären gebildet haben, so müssen diese letzteren wohl Veränderungen erleiden, wenn die Theilchen eines Körpers bei dessen Formverwandlung sich anders gruppiren. Die Erscheinung des Gewitters zeigt, daß die Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes mit einer Elektricitätsentwickelung verbunden ist, und schon dies macht wahrscheinlich, daß auch der Uebergang des Wassers in Dampf von einem elektrischen Vorgange begleitet ist. Die Verhältnisse können aber dabei von der Art sein, daß die entgegengesetzt elektrischen Zustände entweder gar nicht oder doch nicht so scharf aus einander treten, als es zum Behufe der Wahrnehmung vermittelst unserer gewöhnlichen Instrumente nöthig ist. Wenn nur ein kleinstes Massentheilchen der Materie isolirt, d. h. ohne Verbindung mit anderen derselben Art, aber umringt von den Elementen des Elektricums ist, so werden diese sich vermöge der Anziehung, welche zwischen ihnen und den Massentheilchen besteht, um das letztere gruppiren und dasselbe sphärenartig einhüllen. Die Anzahl der elektrischen Elemente, welche das Massentheilchen in diesem Falle mit sich vereinigen kann, wird größer sein, als wenn mehrere solcher Theilchen vermöge ihrer eigenen gegenseitigen Anziehung zu einem Körper zusammentreten. Im letzteren

*) Traité de l'Electr. et du Magn. T. IV. p. 121.

**) Cornelius, die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus ꝛc. S. 99. Leipzig 1855.

Falle wächst die Repulsion und demgemäß auch die Spannung zwischen den Elementen des Elektricums, während sie sich dort mit größerer Freiheit um jedes einzelne Massentheilchen gruppiren können. Bei der Verdunstung des Wassers nun, welches die Erde bedeckt, werden durch Einwirkung der Wärme die kleinsten Massentheilchen des Wassers von einander getrennt, und weil das letztere mit der negativ elektrischen Erde in Berührung ist, so wird dem Elektricum Gelegenheit gegeben, größere Sphären um die Wassermolecüle zu bilden, als demselben während ihrer Verbindung unter einander möglich war. Wenn die isolirten Wassermolecüle in die Atmosphäre aufsteigen und sich hier verbreiten, so können sie keine merkliche Spur von Elektricität verrathen, da das Elektricum in ihnen gebunden ist, verdichten sie sich aber irgendwo zu Wasser, so muß ein Theil von dem Elektricum der Sphären frei werden. Die Schnelligkeit des Ueberganges in die tropfbar flüssige Form muß von Bedeutung sein für die Menge der momentan hervortretenden Elektricität. Geschieht der Uebergang sehr allmälig, so wird das Elektricum eben so allmälig frei, und die jeden Augenblick hervortretende Menge kann so gering sein, daß sie sich der Wahrnehmung völlig entzieht. Der positiv elektrische Zustand der Atmosphäre überhaupt wird dadurch nicht beeinträchtigt werden; vielmehr müssen die höher gelegenen positiv elektrischen Luftschichten, weil der entstandene Dunst eine Art leitender Gemeinschaft zwischen ihnen und der negativ elektrischen Erde stiftet, einen größeren Einfluß auf die letztere gewinnen. Es kommt hierbei viel auf quantitative Verhältnisse an. Nebel und Wolken sind Aggregate von Dunstbläschen, welche die eben erwähnte Gemeinschaft zwischen der Erde und den höheren Luftschichten vermitteln. Anzeigen negativer Elektricität stellen sich häufig erst dann ein, wenn die Dunstbläschen zu Tropfen zusammenfließen, und auch in diesem Falle kann die Leitung, welche sie zwischen den höheren positiv elektrischen Luftschichten und der Erde gewähren, in ihrer Wirkung das Uebergewicht haben über die Wirksamkeit der negativen Elektricität, d. h. des Elektricums selbst, welches bei der Condensation des Dampfes zu Wasser hervortritt. Wenn dagegen eine plötzliche und energische Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes stattfindet, wie etwa beim Gewitter durch das Eindringen eines kälteren Luftstromes in warme mit Wasserdampf gesättigte Luft, so wird eine eben so heftige Repulsion zwischen den elektrischen Sphären der Wassermolecüle eintreten, wenn diese, in unmittelbarer Berührung mit einander, zur Tropfenbildung veranlaßt werden. Je rascher und energischer aber die Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes von Statten geht, desto größer wird die Menge des frei werdenden Elektricums sein. Die letztere wird gerade bei dieser ersten, energischen Tropfenbildung am größten sein, weniger wenn der einmal eingeleitete Regen nur noch erhalten wird durch die Condensation des Wasserdampfes auf der kalten Oberfläche der bereits gebildeten größeren und kleineren Tropfen in einer mit Wasserdampf gesättigten Luft.

Eine auf die angegebene Weise entstandene Gewitterwolke ist nun allemal negativ elektrisch, in sofern das Elektricum selbst auf ihrer Oberfläche angehäuft ist. Dieselbe kann aber vertheilend wirken auf andere entfernte Wolkenschichten, die, weil sie minder energisch entstanden, sich mehr im gewöhnlichen Zustande befinden, und daher kann es kommen, daß während eines Gewitters bald negative, bald positive Elektricität angezeigt wird. Ist aber das Luftelektrometer direct dem vertheilenden Einfluß der Gewitterwolke ausgesetzt, so wird es meist negativ divergiren.

Eine Gewitterwolke wirkt nun auf eine Wolke der letzt bezeichneten Art vertheilend, indem der elektrische Druck (s. d. Art. Elektricität), den das in ihr angehäufte Elektricum ausübt, durch die zwischenliegenden Luftschichten sich fortpflanzt und das Elektricum der zweiten Wolke von der zugekehrten Seite nach der abgewendeten treibt. Das Elektricum der ersten Wolke wird dann, sobald es das Maximum der Spannung erreicht hat, als elektrischer Funke die Luft durchbrechen, um in den leeren Raum einzudringen, den es sich selbst im zugekehrten Theil der zweiten Wolke geschaffen hat. Ist aber die Entfernung beider Wolken sehr bedeutend, so wird das in der ersten Wolke angesammelte Elektricum nicht selbst in die zweite gelangen, sondern nur in einer gewissen Entfernung eine Anhäufung des Elektricums in den zwischenliegenden Luftschichten hervorbringen. Von hier aus kann dann wieder in einer bestimmten Distanz eine neue Verdichtung des E bewirkt werden, und so in abnehmendem Grade fort bis zur anderen Wolke. Bricht jetzt der Blitz aus der eigentlichen Gewitterwolke hervor, so springen zugleich elektrische Funken zwischen beiden Wolken aus allen jenen Stellen über, in denen eine Anhäufung des Elektricums stattfindet. Hieraus erklärt sich die mitunter sehr beträchtliche Länge des Blitzes. Schwebt eine solche Gewitterwolke über Gegenständen, welche mit der Erde in leitender Gemeinschaft stehen, so wird sie auch auf diese vertheilend wirken, indem sie vermöge des elektrischen Druckes, der von ihr ausgeht, das diesen Körpern inwohnende Elektricum zurücktreibt, um ihr eigenes E in den dadurch bewirkten freien Raum zu senden. Ob das letztere aber wirklich geschieht, hängt von verschiedenen Umständen, unter anderem von der Entfernung der Wolke und von der Beschaffenheit des Gegenstandes ab, in welchem die elektrische Vertheilung vor sich geht. Ist derselbe ein Leiter der Elektricität, so kann das in ihm vorhandene E natürlich viel leichter nach der entgegengesetzten Seite in den Boden getrieben werden, wodurch der Uebergang des Elektricums aus der Gewitterwolke in diesen Gegenstand begünstigt wird. Kann aber die Wolke, welche das einem solchen Körper eigenthümliche Elektricum zurückgedrängt hat, nach einer anderen Seite hin zur Entladung gelangen, so fällt ihr Einfluß auf denselben fort, und das in die Erde getriebene E des letzteren muß nun wieder plötzlich in demselben hervortreten, und in den gewöhnlichen Gleichgewichtszustand zurückkehren. Es findet dann ein sogenannter Rückschlag statt, der, wenn die Menge des zurückgedrängten Elektricums (in Folge eines starken vertheilenden Einflusses) sehr beträchtlich und die Rückkehr in den anfänglichen Gleichgewichtszustand sehr plötzlich ist, ähnliche verheerende Wirkungen wie der directe elektrische Schlag hervorzubringen vermag. Man wird nun einsehen, was im Art. Gewitter erwähnt worden ist, daß nämlich die Elektricität eigentlich nicht die Ursache, sondern eine Folge der Gewitterbildung ist, welche letztere durch eine rasche und beträchtliche Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes bewirkt wird.

Es sei hier noch beiläufig erwähnt, daß die Wolken nach Peltier *) auf zweierlei Weise elektrisch sind, nämlich molecular und peripherisch. Der molecularelektrische Zustand bezieht sich auf die Elektricität der einzelnen Dunstbläschen. Sobald sich die letzteren an einander reihen, geht ihre Elektricität auf die Ober-

*) Observations et recherches expér. sur les causes des trombes. Brux. 1831. p. 89.

fläche der Wolke, und die hier peripherische Elektricität kann nach der Entladung durch die molecułare wieder ersetzt werden.

In Hinsicht auf die übrigen Erscheinungen des Gewitters verweisen wir auf den Art. Gewitter. Hier wollen wir aber zum Schlusse noch ein elektrisches Phänomen erwähnen, das nicht selten ein recht interessantes Schauspiel darbot. Es sind dies die sogenannten Wetterlichter, die gewöhnlich unter dem Namen des St. Elmsfeuers bekannt sind. Man nennt die Erscheinung aber wohl auch Hermesfeuer und Helenenfeuer. Schon die Alten erzählten vielfach von diesem Phänomen, das sie in einen abergläubigen Zusammenhang mit ihrem Götterglauben brachten. So wird von Seneca *), Livius **), Hirtius ***) ꝛc. erzählt, daß sich Feuerbüschel auf den Spitzen der Lanzen und Pfeile zeigten, und auch Plinius ****) erwähnt, daß er selbst Sterne auf den Lanzen der Soldaten und auf den Masten der Schiffe gesehen, die mit Zischen von einer Stelle zur anderen hüpften. Bei den Alten wurde das St. Elmsfeuer nach den Dioskuren, Castor und Pollux benannt, welche als Retter in Seegefahren verehrt und als rettend nahe erkannt wurden, wenn diese Lichterscheinung auf den Masten oder Segeln sich zeigte. Dies geschah, wenn man zwei Lichtflammen bemerkte, wurde dagegen nur eine einzige Lichtflamme gesehen, so galt diese für ein böses Zeichen, für die Erscheinung der Helena, der Schwester der Dioskuren, die den Trojanern so verderblich geworden. Nach F. Piper *****), der sich näher mit der Geschichte der Benennung: St. Elmsfeuer beschäftigt hat, liegt derselben ein christlicher Heiligenname (Erasmus, zusammengezogen Ermus, italienisch Ermo, auch Elmo) zum Grunde. Wir lassen nun einige Darstellungen des Phänomens, das im Allgemeinen eine elektrische Lichterscheinung an hervorragenden Gegenständen ist, folgen. Forbin †) erzählt: „Im Jahre 1696 zog sich plötzlich während der Nacht ein schwarzes Gewölk zusammen, wobei erschreckliche Lichter und Donnerschläge entstanden. Weil ich einen starken Sturm befürchtete, ließ ich alle Segel einziehen. Wir sahen auf dem Schiffe mehr als 30 St. Elmsfeuer. Eins unter anderen befand sich oben auf dem Windflügel des großen Mastes, welches mehr als $1^1/_2$ Fuß hoch war. Ich schickte einen Matrosen hinauf, es herunterzubringen. Als er oben war, hörte er dieses Feuer ein Geräusch machen, wie wenn man angefeuchtetes Schießpulver entzündet. Ich befahl ihm den Flügel abzunehmen und damit herunterzukommen. Kaum aber hatte er ihn von der Stelle weggenommen, so ging das Feuer davon weg und setzte sich auf die Spitze des Mastes, ohne daß man es hätte davon abbringen können. Es blieb daselbst ziemlich lange, bis es nach und nach verging. Der gedachte Sturm hatte keine Folgen als einen starken Regen, der mehrere Stunden dauerte." Ein anderes Beispiel erzählt Burchell ††): „Ich kehrte Abends von einem Besuche zurück, welchen ich den Missionären (im südlichen Afrika) gemacht hatte,

*) Quaest. Nat. Lib. I. Cap. 1.
**) Histor. Lib. XXXII. Cap. 1.
***) Bellum afric. Cap. 47.
****) Hist. nat. Lib. II. Cap. 37.
*****) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 317.
†) Mém. du comte de Forbin. T. I. p. 368. Hamburg. Magazin. Th. VII. S. 425.
††) Reise in Südafrika. Th. I. S. 368. Kämtz, Meteorologie. Th. II. S. 487.

und als ich über die Wiese ging, bemerkte ich ein elektrisches Phänomen, das ich nur dies einzige Mal in meinem Leben sah. Von jeder Himmelsgegend aus schienen Blitze auszugehen, die auf einander in sehr kurzen Zwischenzeiten ohne Donner folgten. Alles rings umher war still und nur einzelne schwere Regentropfen entfielen einigen außerordentlich dichten und schwarzen Wolken. Plötzlich erblindete ich fast von einem glänzenden Schimmer, der vom Zenith herabgefahren zu sein schien, und einen Augenblick lang schien jeder Grashalm 15 Fuß im Umkreise durch die Elektricität entzündet zu sein. Keine Explosion fand statt, nicht das mindeste Geräusch ließ sich hören, und das Phänomen äußerte seine Wirkung auf keine andere Weise. Alles blieb ruhig und ich setzte meinen Weg fort, ohne daß die Erscheinung sich von Neuem gezeigt hätte. Das grobe Gras hatte an jener Stelle einen Fuß Höhe, und jeder Halm und jedes Blatt war stark erleuchtet, oder schien vielmehr zu brennen; doch weiter als 15 Fuß konnte ich diese Erscheinung nicht wahrnehmen."

Gilbert *) führt folgende Beispiele an. Allemand **) sah am 3. Mai 1821 in der Nähe von Neufchatel während eines heftigen Gewitters, daß sein Hut und Regenschirm leuchteten. Desgleichen bemerkte J. Braid zu Leadhills am 20. Februar 1817, daß die Ohren des Pferdes und der Rand des Hutes ganz leuchtend waren. Einige Zeit darauf fing es an heftig zu schneien und zu regnen. Sobald das Pferd naß geworden war, verschwand das Licht an den Ohren, aber das schwache Licht am Rande des Hutes erlosch nicht eher, als bis der Hut durch und durch naß war. Ehe der Regen anfing, schossen unzählige Funken nach dem Rande des Hutes und den Ohren des Pferdes. Eben so hatte man in der Nacht vom 17. Januar 1817 an vielen Gegenden der östlichen Küste der vereinigten Staaten von Nordamerika Gewitter mit Regen und Schnee. Die Blitze folgten auf einander fast ununterbrochen, aber nur auf wenige folgte Donner. Die Personen, welche sich um diese Zeit im Freien, an etwas hochliegenden Stellen befanden, sahen den Rand ihrer Hüte, ihre Handschuhe, die Ohren, den Schweif und die Mähnen der Pferde, an den Wegen stehendes Gesträuch, einzeln stehende Baumstämme und dergleichen mit lebhaften, wankenden und verschieden gestalteten Flammen umgeben, welche ein schwaches Geräusch hervorbrachten, ähnlich dem, welches man beim Kochen des Wassers kurz vor dem Sieden bemerkt.

Saussure und Jollabert ***) bemerkten auf den Alpen ebenfalls Feuerbüschel an ihren Fingern und ihrer Bekleidung, vorzüglich an einer metallenen Hutagraffe, welche Jollabert trug. Aehnliche Wetterlichter an den Ohren seines Pferdes sah auch Nicholson ****), und eben so Snell *****) an dem Hute bei einem vorüberziehenden Gewitter †). Riegel ††) wurde in der Nähe von Aschaffenburg bei sehr finsterer Nacht von einem heftigen Platzregen mit

*) Annalen. Bd. LXX. S. 119.

**) Biblioth. univ. 1821.

***) Hist. de l'Acad. 1767. p. 33

****) Phil. Trans. T. LXIV. p. 351.

*****) Lichtenberg's Magaz. Th. V. St. 1. S. 111.

†) Erzählungen ähnlicher Fälle sind enthalten in: Phil. Trans. T. XLVIII. p. 210. Mém. de l'acad. 1764. p. 403. Ann. de Chim. et de Phys. T. XVII. p. 305.

††) Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 655.

Sturmwinde überfallen. Als dieser nach etlichen Minuten vorüber war, wurde derselbe und sein Pferd von einem zweiten Regen durchnäßt, und er sah dann, während er in einer Fähre über ein Wasser fuhr, daß die in die Höhe stehenden Mähnen seines Pferdes, so wie die Ränder und Spitzen der Ohren zu leuchten anfingen. Auch die aus Bindfaden geflochtene Spitze seiner Reitpeitsche leuchtete einen Fuß lang. Auf der Mitte des Flusses zeigte sich die Erscheinung am auffallendsten, und verschwand, als Riegel das Land betreten hatte. Mohr*) erzählt von einem Herrn, der bei Regenschauer und Schneegestöber in finsterer Nacht zwischen einem Flusse und einem Walde ritt. Nach einigen Funkenerscheinungen sah er die Ohren seines Pferdes leuchten, und bald verbreitete sich das Licht von hier über den ganzen Kopf und Hals. Das Pferd des hinterher reitenden Bedienten zeigte dieselbe Erscheinung. Auf jeder längeren Haarspitze saß gleichsam ein Funke, größere auf den längeren und fast unmerkliche auf den kleinen. Johanniswürmchen ähnlich saßen diese Lichtpunkte auf den am Eingange der Nasenlöcher und Ohren sitzenden Haaren, und waren besonders brillant längs der Mähnen, wo sie wie Perlen in den einzelnen Haaren eingeschoben zu sein schienen. An dem Kamme, wo die Mähnen links herabhängen, standen viele Haare in die Höhe, deren Spitzen alle mit diesen Lichtpunkten reich besetzt waren. Die Erscheinung dauerte 5 bis 6 Minuten, erlosch zuletzt an den Ohren, und kam noch einige Mal, auf kürzere Zeit wieder. Am Schweife und an den übrigen Theilen des Pferdes war nichts zu sehen.

Viele Wetterlichter bei Schneegestöber zeigten sich auch am 23. Febr. 1792 Abends auf dem Thurmknopfe der großen evangelischen Pfarrkirche zu Hermannstadt **). Zuerst zeigten sich kleine weiße, ins Bläuliche spielende Flammen, mit denen aber bald der ganze Knopf besetzt war. Dabei hörte man ein deutliches Geknister, die Flammen bewegten sich, und nahmen mit dem Winde ab und zu. Als es um halb acht Uhr aufhörte zu schneien, verschwand die Erscheinung. Capitän Bourdet wurde im December 1806 auf einem nächtlichen Marsche in Polen von einem Schneegestöber bei heftigem Sturme überfallen ***). Alsbald fingen die Ohren und alle längeren Haare der Pferde, mit Ausnahme der Schwänze und Mähnen, an zu leuchten, wie auch alle hervorragenden metallenen Enden und Spitzen. Diese Erscheinung dauerte etwa 3 bis 4 Minuten und hörte gerade auf, als der heftige Windstoß nachließ und ein starker Regenschauer eintrat.

Endlich kommt es auch vor, daß die herabfallenden Schneeflocken selbst leuchtend sind. Bei einem heftigen Schneegestöber, welches zu Freiberg am 25. Februar 1822 stattfand, und bei welchem die Elektricität nach Lampadius ****) Beobachtung sehr stark war, bemerkte der Bergeleve v. Thielau bei der Halsbrückner Straße an den Zweigspitzen aller Bäume eine lebhafte Lichterscheinung (von bläulich weißer Farbe), welche aufhörte, wenn die Zweigspitzen der Bäume zur Erde gebogen wurden. Zu derselben Zeit sahen drei Bergleute auf der anderen Seite von Freiberg, daß die Schneeflocken und Graupelkörner leuchtend zur Erde

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 370.
**) Lichtenberg's Magaz. Th. VIII. St. 4. S. 158.
***) Edinb. Phil. Journ. No. XXII. p. 405.
****) Gilbert's Ann. Bd. LXX. S. 113.

stelen. Dieselbe Erscheinung des leuchtenden Schnees hat Forskall *) am 22. April 1759 zu Upsala gesehen, und Ende März 1823 wurde sie auf dem Lochawe-See in Argileshire beobachtet.

Das St. Elmsfeuer ist nun wohl ohne Zweifel dieselbe bekannte Lichterscheinung, welche man an Spitzen wahrnimmt, wenn in diese Elektricität ein- oder aus ihnen herausströmt. Nach unserer Ansicht (s. Art. Elektricität) **) sind die sogenannten negativen Spitzen, welche einen leuchtenden Punkt oder Stern oder einen kleinen Lichtbüschel zeigen, diejenigen, welche das Elektricum wirklich aussenden; die positiven Spitzen empfangen dagegen das Elektricum von verschiedenen Seiten her aus der Umgebung, und zeigen einen längeren Lichtbüschel. Die meisten Erscheinungen des St. Elmsfeuers scheinen (der Beschreibung nach) dem letzteren Falle anzugehören, indem die negative Elektricität einer Wolke (oder des Regens und Schnees), d. h. also das Elektricum selbst den Spitzen hervorragender Gegenstände sich mittheilt. Dies wird geschehen, wenn die Gewitterwolke der Erde sehr nahe ist, so daß die hervorragenden Spitzen in die elektrische Atmosphäre der Wolke gleichsam eingetaucht sind, wo dann statt der explosiven Entladung eine mehr geräuschlose stattfindet, welche sich eben durch die Lichtflämmchen an den Spitzen bemerklich macht. Diese Erscheinung scheint nicht selten vorzukommen, wenn die Gewitterwolke in Folge der Windverhältnisse zerstreut wird, und dann als weniger compacte Masse zur Entladung gelangt. So bemerkt auch Reimarus ***), daß dieselbe sich nicht sowohl während der Gewitter als vielmehr nach der Zertheilung derselben zeige, und daher von den Schiffern als eine gute Vorbedeutung betrachtet werde. Die Erscheinung tritt aber wohl eigentlich gerade während der Zertheilung oder Zerstreuung des Gewitters hervor. Die Lichtpunkte an den Spitzen deuten dagegen auf ein Ausströmen der negativen Elektricität (des Elektricums) der Erde nach einer durch Vertheilung positiv elektrisirten Wolkenschicht hin. Diese Vertheilung kann durch eine andere, entferntere negativ elektrische Gewitterwolke bewirkt werden.

Luftheizung, s. Heizung.

Luftkreis, s. Atmosphäre.

Luftschifffahrtskunde, Aëronautik, ist die Lehre von den Mitteln zu einer willkürlichen Bewegung der Luftschiffe. Sobald es gelungen war, ein Luftschiff, d. h. eine frei in der Luft schwimmende und nicht unbeträchtliche Lasten tragende Maschine herzustellen, mußte sich das Nachdenken der Frage zuwenden, durch welche Mittel eine solche Maschine gelenkt werden könne, so daß nicht blos die Höhe, in der sie schweben soll, sondern auch Richtung und Geschwindigkeit ihrer horizontal fortschreitenden Bewegung willkürlich zu bestimmen wäre. Die große Sicherheit, welche man in der Regierung der Seeschiffe besitzt, ließ im ersten Augenblick hoffen, es werde auch leicht möglich sein, eine ähnliche Sicherheit in der Lenkung der Luftschiffe zu erreichen, aber, obgleich diese Frage anfangs mit vielem Eifer behandelt ist, sind doch die Resultate der Bestrebungen noch so gering

*) Bergmann, Physik. Erdbeschr. Th. II. S. 78.

**) Vergl. auch Cornelius: Die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus rc. S. 67—73. Leipzig 1855.

***) Neuere Bemerkungen vom Blitze. S. 170. Hamburg 1794.

geblieben, daß eine praktische Anwendung der Luftschifffahrt noch nicht erreicht ist. Dennoch wird die Naturwissenschaft auf jedem Standpunkte ihrer Ausbildung nicht vermeiden können, die Frage von neuem aufzunehmen, um zu untersuchen, ob mit den ihr zu Gebote stehenden Mitteln eine Lösung derselben möglich ist.

Es ist für die willkürliche Bewegung des Luftschiffs von wesentlichem Einfluß, ob die Luft ruhig, oder ob sie in Bewegung ist, und wir wollen in der nachfolgenden Betrachtung diese beiden Fälle auseinanderhalten und zunächst die Bewegung in ruhiger Luft untersuchen. Diese Bewegung ist wiederum entweder eine verticale oder eine horizontale, die beide getrennt von einander untersucht werden müssen. Steigt eine gewöhnliche Charlière in ruhiger Luft auf, so ist die Steigkraft K derselben durch folgende Formel gegeben

$$K = \frac{n\, d^3\, (p - q)\, \pi}{6} - d^2 b\, \pi - P.$$

Hier bezeichnet d den Durchmesser des Ballons, p das Gewicht von einem Cubikfuß atmosphärischer Luft, q das Gewicht von einem Cubikfuß des eingeschlossenen Gases, b das Gewicht von einem Quadratfuß der Ballonhülle, P die Nebenlast, d. i. das Gewicht der Schnüre, der Gondel, der Luftschiffer u. s. f. Die Geschwindigkeit v, die der Ballon im Aufsteigen annimmt, wird sein

$$v = \sqrt{\frac{5\, K}{d^2\, \pi\, k}},$$ in welcher Formel $K = 0{,}00162$ zu setzen ist, und

die Höhe, in welcher der Ballon ins Gleichgewicht kommt, wird sein

$$H = \frac{B}{D} \log \text{nat} \frac{d^3\, \pi\, (p - q)}{6\, (d^2 b\, \pi + P)},$$

wenn mit B die Barometerhöhe an der Erdoberfläche und mit D die Dichte der Luft daselbst, bezogen auf die Dichte der Barometerflüssigkeit, bezeichnet wird *).

Diese Formeln zeigen, daß es durch geeignete Bestimmung der Nebenlast P ganz in der Hand des Luftschiffers liegt, mit welcher Steigkraft und mit welcher Geschwindigkeit er aufsteigen will; die Höhe, bis zu welcher der Ballon sich erhebt, hängt wesentlich von dem Durchmesser desselben und von der Last P ab. Einen Einfluß auf die verticale Bewegung während der Fahrt hat der Luftschiffer nur in sofern, als er die aufsteigende Geschwindigkeit mäßigen oder diese Bewegung ganz zur Ruhe bringen kann durch Herauslassen von Gas; durch dasselbe Mittel kann er auch den ruhenden Ballon zum Sinken bringen. Soll der ruhende Ballon noch weiter steigen, die steigende Bewegung beschleunigt oder die fallende verzögert werden, so steht ihm dazu nur das Mittel zu Gebote, die Nebenlast P zu vermindern, d. h. Ballast auszuwerfen. Beide Mittel, das Herauslassen von Gas sowohl als das Herabwerfen von Ballast, haben aber den Nachtheil, daß sie Verluste herbeiführen, die sich innerhalb derselben Fahrt nicht ersetzen lassen; man hat also versucht diese Mittel durch andere zu ersetzen.

So lange der Ballon nicht vollständig aufgebläht ist, bleibt seine Steigkraft dieselbe, denn wenn er auch in immer leichtere Luft kommt, die geringere Tragfähigkeit besitzt, so wird doch sein Volumen in demselben Verhältniß größer; eben so bleibt die relative Schwere des sinkenden Ballons dieselbe. Ist nun der

*) Siehe den Artikel Luftball.

steigende Ballon durch Herauslassen eines entsprechenden Quantums Gas zur Ruhe gebracht, so gehört sein Gleichgewichtszustand keiner besonderen Höhe an, sondern er würde nun in verschiedenen Höhen im Gleichgewicht sein können mit der einzigen Beschränkung, daß diese Höhen unterhalb derjenigen sind, für welche der Ballon vollständig aufgebläht ist. Könnte man also den schwebenden Ballon durch irgend ein äußeres Mittel ohne Verlust an Gas in eine tiefere Region herabbringen, so müßte er auch hier schweben, ohne das Bestreben zu haben, zu seiner vorigen Höhe sich zu erheben. Sein Gleichgewicht ist also rücksichtlich der Höhe kein stabiles, sondern ein indifferentes; nur wird der Ballon in den tieferen Luftschichten weniger, in den oberen mehr aufgebläht sein. Der Bewegung des Ballons stellt sich also nur der Luftwiderstand als einziges Hinderniß entgegen, dieses aber richtet sich nach der ertheilten Geschwindigkeit. Es folgt also, daß die kleinste auf das Luftschiff ausgeübte Kraft dasselbe bei ruhiger Luft wird in Bewegung setzen können, und es ist hierbei ganz gleichgültig, in welcher Richtung diese Bewegung vor sich gehen soll, bei gänzlicher Abwesenheit anderer Kräfte wird das Luftschiff die Richtung der wirkenden Kraft annehmen. Diese Kraft muß entweder den Widerstand der umgebenden Luft als Stützpunkt annehmen, oder die feste Masse des Aërostaten muß dieser Stützpunkt sein. Zu dem ersten Fall würde gehören die Anwendung von Rudern, von Schaufelrädern, von denen die Hälfte oder drei Viertel von einer an der Gondel befestigten Hülle umgeben wären, oder die Anwendung der archimedischen Schraube *). Von diesen Mitteln wird dasjenige den Vorzug verdienen, welches den größten Theil der zu seiner Bewegung angewandten Kraft auf den Stützpunkt überträgt; die einfachste Vorrichtung, die Ruder möchten den Vorzug verdienen. Als bewegende Kraft bietet sich zunächst die Muskelkraft des Aëronauten dar, und wir wollen nun überschlagen, welche Wirkung sich davon erwarten läßt.

Die oben für v aufgestellte Formel hat auch die Bedeutung, daß K die Größe des Luftwiderstandes eines Ballons zum Durchmesser d bei der Geschwindigkeit v angiebt; es ist also: $K = \frac{d^2 v^2 \pi k}{5} = 0{,}001018\ d^2 v^2$, die Arbeit dieses Widerstandes in der Secunde ist also $Kv = 0{,}001018\ d^2 v^3$. Bezeichnen wir die Arbeit der auf den Bewegungsapparat ausgeübten Kraft mit A und nehmen das sehr günstige Verhältniß an, daß davon 75 Proc. nutzbar gemacht werden können, so erhalten wir zur Bestimmung der Geschwindigkeit v folgende Gleichung:

$$Kv = 0{,}001018\ d^2 v^3 = 0{,}75\ A, \text{ und hieraus ergiebt sich:}$$

$$v = 9{,}03 \sqrt[3]{\frac{A}{d^2}}.$$

*) Zu dem zweiten Falle würde die Reaction einer aus einem Gefäße strömenden gasförmigen Flüssigkeit gehören. Wenn irgend eine Flüssigkeit aus der Oeffnung eines Gefäßes strömt, so wird dem letzteren bei sonst freier Beweglichkeit eine Bewegung ertheilt, deren Richtung der Ausströmungsrichtung gerade entgegengesetzt ist. Sind nun an dem Gefäße, das mit dem Luftballon in Verbindung steht, zwei zu einander parallele Ausströmungsröhren befindlich, die um eine gemeinsame verticale Axe drehbar sind; so läßt sich die Ausströmungsrichtung und mit ihr auch die Bewegungsrichtung des Ballons beliebig abändern. C.

Diese Formel giebt über die Möglichkeit einer willkürlichen Bewegung des Aërostaten wesentliche Aufschlüsse. Die Arbeitsfähigkeit eines Menschen können wir etwa zu 100 Fußpfund in der Secunde ansetzen, was etwas weniger als $^1/_5$ Maschinenpferdekraft ist. Mit solcher Arbeitskraft könnte also ein 30füßiger Ballon mit der Geschwindigkeit von

$$v = 9{,}03 \sqrt[3]{\frac{100}{30^2}} = 4{,}44 \text{ Fuß}$$

bewegt werden, ein 20füßiger würde die Geschwindigkeit 5,69 Fuß annehmen. Auch im letzten Falle würde die fortschreitende Bewegung des Ballons nicht viel größer als die eines stark ausschreitenden Mannes sein. Wirken 2 Menschenkräfte auf den Bewegungsapparat, so kann der 30füßige Ballon eine Geschwindigkeit von 5,47 Fuß, der 20füßige aber eine von 7,17 Fuß annehmen. Ueberhaupt zeigt die Formel, daß die Geschwindigkeit wachsen wird wie die Cubikwurzel aus der Arbeitskraft, die den Ballon treiben soll. Bedenkt man aber, daß in der Regel die treibende Kraft nicht gut anders vergrößert werden kann, als daß sich gleichzeitig auch das Gewicht des ganzen Aërostaten und also auch d der Durchmesser des Ballons vergrößert, so folgt, daß die Geschwindigkeit des Ballons in einem noch geringeren Verhältnisse wachsen wird. Im Allgemeinen wird die zu transportirende Last in ziemlich constantem Verhältniß stehen mit dem Volumen des Ballons, also mit dem Cubus des Durchmessers; nimmt man nun auch das Arbeitsvermögen A der bewegenden Kraft als dieser Last proportional an, so wird man sehr nahe $d = \alpha \sqrt[3]{A}$ setzen können, so daß α einen unbestimmt bleibenden Coefficienten bezeichnet; setzt man diesen Werth in obige Gleichung, so ergiebt sich

$$v = 9{,}03 \sqrt[9]{\frac{A}{\alpha^2}},$$

d. h. die Geschwindigkeit wächst wie die 9. Wurzel aus dem Arbeitsvermögen der bewegenden Kraft, oder beispielsweise, um die Geschwindigkeit eines Luftballons in ruhiger Luft auf das Doppelte zu steigern, müßte man die treibende Kraft auf das 512fache steigern, während gleichzeitig der Ballon den 8fachen Durchmesser bekommen müßte. Bei großer Steigerung der zu transportirenden Last wird es nicht möglich sein, einen einzigen Ballon anzuwenden, man würde gleichzeitig mehrere anwenden müssen, dadurch tritt der Nachtheil ein, daß alsdann die dem Luftwiderstand entgegengesetzte Oberfläche des Ballons in demselben Verhältniß wächst als der Körperraum derselben, also für eine Steigerung der Geschwindigkeit **nichts** erzielt wird.

Gestützt auf diese Vordersätze können wir nun die Folgerung aussprechen, daß, sollte es auch möglich sein, eine größere Kraftmaschine durch einen Aërostaten zu heben, die Wirkung dieser Maschine dem Aërostaten stets nur eine mäßige Geschwindigkeit in ruhiger Luft wird ertheilen können, und daß es dabei ohne wesentlichen Einfluß sein wird, in welcher Weise die Fortbewegung erzielt wird.

Der Gedanke, den ruhenden Aërostaten durch Ruderflügel zu bewegen, lag nahe und ist auch schon früh angewandt. Schon die ersten Luftschiffer **Blanchard**, die Gebrüder **Robert**, der Graf **Zambeccari** gebrauchten dieselben.

Der letztere hatte bei seiner ersten Luftfahrt seine beiden Ruderflügel aus einem 6,5 Fuß langen, nach außen breiter werdenden mit 15 Quadratfuß Seidenzeug überspannten Rahmen gemacht; die cylindrischen Stiele lagen in Ringen, die sich um eine horizontale Axe drehten. So konnten die Ruder in jeder Richtung bewegt werden; sollte z. B. der Ballon gehoben werden, so wurden die Räder mit ihrer breiten Fläche niedergedrückt und mit der schmalen Seite wieder in die Höhe gezogen. Es ist also nicht unmöglich, mit einem Luftschiff bei ruhiger Luft, allerdings mit körperlicher Anstrengung der Luftschiffer eine kleine Reise willkürlich vorzunehmen. So wird denn auch erzählt, daß am 25. August 1785 die Herrn Vollet und Alban, Directoren der chemischen Officin zu Javelle bei Paris, nach vorbestimmter Richtung eine Luftreise von Javelle nach St. Cloud und wieder zurück gemacht hätten. Die Wahrheit dieser Angabe ist viel bestritten, aber nehmen wir nur an, daß an jenem Tage Windstille gewesen ist, so hat die Ausführung dieser kurzen Reise gar nichts Unwahrscheinliches.

Bietet die verticale Bewegung der Charlièren so viel Schwierigkeit, so ist die willkürliche Einwirkung auf die verticale Bewegung einer Montgolfière um so einfacher. Vermehrung des Feuers bringt eine Hebung, Verminderung eine Senkung hervor, es kommt nur darauf an, das Feuer so anzubringen, daß für den Luftball selbst keine Gefahr daraus erwächst. So hatte schon der erste Luftfahrer Pilatre de Rozier bei seiner ersten Luftreise am 21. November 1783 so viel Herrschaft über sein Fahrzeug, daß er beim Herablassen durch geeignete Behandlung des Feuers das Anstoßen vermeiden konnte.

Bieten so die Charlièren bei mäßigem Umfange eine ziemliche Steigkraft und eine ziemlich sichere Stabilität, hingegen die Montgolfièren einen einfachen und sicheren Einfluß zur Regulirung ihrer verticalen Bewegung, so lag es nahe, beide mit einander zu verbinden, unterhalb der Charlière zwischen ihr und der Gondel eine kleinere Montgolfière anzubringen, jener vorzugsweise die Herstellung des Gleichgewichts und dieser die willkürliche Hebung und Senkung zu übertragen. Leider mißglückte der erste Versuch, aber wahrscheinlich aus anderen Ursachen, und der Erfinder Pilatre de Rozier büßte dabei sein Leben ein. Mit einer solchen Carlo-Montgolfière stieg am 22. August 1804 der Graf Zambeccari auf, und es genügte das Anzünden eines einzigen Flämmchens, den Ballon in wenigen Secunden zum Steigen zu bringen, während das Auslöschen desselben ihn in etwa einer Minute zum Sinken brachte. Man sieht, die Wirkung des angezündeten Flämmchens machte sich früher geltend als die des Auslöschens, da die geringe Wärmeausstrahlung erst allmälig ein geringes Zusammenfallen des Ballons eintreten ließ, doch könnte man durch Anbringung einer einfachen Ventilklappe, wie sie bei den Charlièren gebräuchlich ist, ein schnelleres Sinken des Ballons erzielen. Durch Oeffnung derselben, wenn auch nur für einen Augenblick, würde ein kleiner Luftzug entstehen, ein Theil der in der Montgolfière enthaltenen warmen Luft wieder durch kältere ersetzt werden, und das Sinken des Ballons würde fast augenblicklich eintreten müssen.

So war die Regelung der verticalen Bewegung einer Carlo-Montgolfière hinreichend in die Hand des Luftschiffers gegeben, wobei doch beachtet werden muß, daß die mit Sicherheit anzuwendende Geschwindigkeit nur eine mäßige sein dürfte. Oft kommt es bei der verticalen Bewegung des Luftschiffes vor, daß dasselbe sich dreht. Bei ruhiger und selbst bei gleichmäßig bewegter Luft kann ein solches

Drehen nur dadurch hervorgebracht werden, daß der Ballon bei seiner Bewegung dem Widerstande der Luft eine nicht durchweg symmetrische Oberfläche entgegensetzt, dieser Luftwiderstand daher nicht an allen Seiten gleichmäßig wirkt. Diese drehende Bewegung läßt sich dadurch wieder aufheben, daß an den beiden Endpunkten der Gondel zwei kleine schiefe Ebenen angebracht werden, die leicht gestellt werden können und jedesmal so gestellt werden müssen, daß der gegen sie wirkende Luftwiderstand eine Drehung der Gondel in dem entgegengesetzten Sinne von der Drehung zu erzeugen strebt, welche eben vermieden werden muß. Bei der richtigen Stellung dieser kleinen Flügel werden sich dann beide Drehungen aufheben, und die Richtung der Gondel wird stabil bleiben. Der Uebelstand wird nur der sein, daß in dem Falle, wenn der Ballon eine Neigung zum Drehen hat, stets ein Luftschiffer auf die geeignete Stellung jener Flügel seine Aufmerksamkeit wenden muß. Will man absichtlich dem Luftschiff eine Drehung geben, so genügt eine von dem einen Ende der Gondel mit einem Luftruder einseitig ausgeübte Bewegung ganz eben so, wie bei einer auf dem Wasser schwimmenden Gondel.

Hat man nun die verticale Bewegung in seiner Gewalt und vermag zugleich das Luftschiff vor einer unbeabsichtigten Drehung zu bewahren, so bleibt es nun noch möglich, aus jener verticalen Bewegung eine beliebige horizontale abzuleiten. Man denke sich, wie dies von einem Engländer vorgeschlagen wurde, zwischen der Charlière und der Montgolfière ein Segel angebracht, das etwa unter 45° gegen den Horizont geneigt ist. Wird nun dem Ballon eine steigende Bewegung mitgetheilt, so muß der gegen die obere Fläche des Segels wirkende Luftwiderstand das Luftschiff seitwärts treiben und zwar nach der Weltgegend hin, nach welcher die untere Segelfläche gewendet ist. Giebt man dem Luftschiff eine sinkende Bewegung, so muß die Wirkung gerade umgekehrt sein, und das Luftschiff wird nach der Seite hin gedrängt, nach welcher die obere Segelfläche hingewendet ist. Es versteht sich von selbst, daß, soll die jedesmalige Horizontalbewegung dieselbe Richtung beibehalten, jede Drehung des Luftschiffs vermieden werden muß. Man könnte nun durch wiederholtes Aufeinanderfolgenlassen von aufwärts und abwärts gerichteten Bewegungen des Ballons eine längere horizontale Seitenbewegung erzielen, müßte dann aber bei jedem Uebergange der einen Verticalbewegung in die entgegengesetzte entweder das Segel anders stellen, oder, was einfacher wäre, dem Luftschiff mittelst eines Ruders eine halbe Drehung geben. Man sieht aber leicht, daß diese Zickzackbewegung, die ähnlich dem Kreuzen der Seeschiffe wäre, nur langsam vorwärts bringen würde und also zu einer regelmäßigen Horizontalbewegung kaum zu empfehlen bleibt. Daher möchte die Anwendung von Luftrudern das einfachste und immer noch beste Mittel sein, um in ruhiger Luft eine Seitenbewegung hervorzubringen.

Welchen Einfluß übt aber der Wind auf den Aërostaten aus? Als gleich im Anfange der Luftschifffahrtsversuche die Akademie zu Lyon 1784 einen Preis auf die Lösung des Problems der horizontalen Lenkung des Aërostaten setzte, gab es viele Vorschläge, die den Wind ganz eben so mittelst anzubringender Segel zur Lenkung der Luftschiffe benutzen wollten, als er wirklich die Lenkung der Seefahrzeuge bewirkt. Man verkannte dabei die wesentliche Verschiedenheit zwischen Luft- und Seeschiffen. Zweierlei macht die Benutzung des Windes zur Lenkung der Seefahrzeuge möglich, so daß man mit Hülfe des Windes in einer der Windrichtung zum Theil entgegengesetzten Richtung fahren kann. Erstens der Umstand,

daß der Wind schneller weht, als das Schiff fährt, denn nur in diesem Falle kann der Wind einen Druck gegen die Segel ausüben, und zweitens, daß das Wasser dem Schiffsrumpfe einen Widerstand darbietet, der die durch den Wind und die Segelstellung des Schiffs bedingte Bewegungsrichtung nochmals abzuändern vermag. Beide Bedingungen fehlen bei dem Luftschiff; dasselbe schwimmt in der Luft, wird von ihr getragen, und weil Wind nichts weiter ist, als bewegte Luft, so wird das Luftschiff in bewegter Luft die Bewegung der letzteren theilen, ohne irgend einen Druck des Windes zu empfinden. Auch im schnellsten Sturme, sofern er nur gleichmäßig weht, wird der Luftschiffer rücksichtlich der ihn umgebenden Luft dieselbe Empfindung haben können als in ruhiger Luft, und derselbe Sturm, der Wälder umstürzt und Schiffe scheitern läßt, wird das so zart gebaute Luftschiff nicht verletzen, aber er wird es mit seiner eigenen Geschwindigkeit mit sich fort nehmen. Wenn nun der Wind keinen Druck auf ein Luftschiff auszuüben vermag, so kann auch die Aufstellung von Segeln nichts helfen.

Nutzbar kann der Wind bei der Luftschifffahrt nur in dem einen Falle gemacht werden, wenn sich der Luftschiffer gerade in der Richtung des Windes bewegen will; dann braucht er nur aufzusteigen, sich dem Winde zu überlassen und am gewünschten Orte niederzusteigen. Die Geschwindigkeiten, die dem Winde überlassene Aërostaten angenommen haben, waren nicht unbedeutend. So legte der Ballon, mit welchem Garnerin und der Capitän Sowdon 1802 von London nach Colchester fuhren, $17^1/_2$ deutsche Meile in einer Stunde zurück. Robertson's Ballon in Hamburg durchlief 10 deutsche Meilen in einer Stunde, und ein am 16. December 1804 zu Paris aufsteigender großer Aërostat fiel nach 22 Stunden unweit Rom nieder.

Der Nutzen des Windes bleibt daher in der Luftschifffahrt sehr beschränkt, denn selten wird man gerade den gewünschten Wind zur Hand haben. Der Vorschlag Montgolfier's, der von der Ansicht ausging, daß in verschiedenen Luftregionen verschiedene Winde herrschten, ging dahin, daß der Luftschiffer sich bis zu der Region erheben sollte, in welcher der ihm günstige Wind herrscht, doch bleibt die Ausführung immer schwierig und das Resultat unsicher, selbst wenn jenes gleichzeitige Vorhandensein verschiedener Winde sich stets bestätigen sollte.

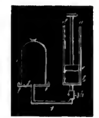
Will man nun mit dem Aërostaten eine von der Windrichtung abweichende Bewegung annehmen, so bleibt nichts weiter übrig als die Anwendung mechanischer Mittel, wie wir sie oben für die willkürliche Bewegung in ruhiger Luft schon besprochen haben. Werden diese Mittel angewandt, so wird der Ballon eine Richtung einschlagen, die durch die Zusammensetzung der Windbewegung mit der dem Ballon ertheilten besonderen Bewegung erhalten wird, und es leuchtet ein, daß die wirkliche Bewegung des Aërostaten um so weniger von der Windbewegung abweichend sein wird, je stärker die letztere ist. Die oben gefundenen Geschwindigkeiten des Aërostaten für die Bewegung durch mechanische Mittel waren unter den günstigsten Voraussetzungen (75 Proc. Nutzeffect) gewonnen, und werden in der Wirklichkeit kaum annähernd erreicht werden, dennoch waren sie viel geringer als die Geschwindigkeit eines mäßigen Windes und bleiben ganz unbedeutend gegen die Geschwindigkeit eines Sturmes, deshalb wird auch durch Anwendung jener Mittel nur bei gelindem Winde eine Ablenkung von der Windrichtung in einigem Belange gewonnen werden können. Nehmen wir z. B. an, es wehe ein sanfter

Wind von 12′ Geschwindigkeit und es gelänge zwei Luftschiffern wirklich, ihrem Luftball die oben berechnete Geschwindigkeit von 5,47′ senkrecht gegen die Windrichtung zu geben, so würde dadurch eine Ablenkung von der Windrichtung um $24^1/_2{}^0$ erreicht. Aehnliche Verhältnisse, wie die eben angenommenen, mögen wohl bei der am 19. September 1784 unternommenen Luftfahrt stattgefunden haben, bei welcher die Gebrüder Robert durch ihre Ruder eine Ablenkung von 22° erlangt haben wollen. — Nehmen wir im obigen Beispiele die Geschwindigkeit des Windes zu 40′ an, so ist die mögliche Ablenkung etwa $7^3/_4{}^0$, und bei 60′ Windgeschwindigkeit nur $5^1/_4{}^0$. Zugleich erhellt jetzt, daß es selbst bei schwachem Winde nicht so leicht möglich sein wird, den Ballon nur zum Stillstehen zu bringen, geschweige denn ihn mit nur einiger Geschwindigkeit gegen den Wind zu führen.

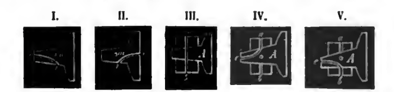
Bei Aufstellung der obigen Formeln über die mögliche, dem Aërostaten durch mechanische Mittel zu ertheilende Geschwindigkeit, waren wir von der Voraussetzung ausgegangen, daß die Kraftäußerung von Gegenständen (lebenden Wesen oder Maschinen) ausgehe, deren Arbeitsfähigkeit zu ihrem Gewichte in keinem auffallend günstigeren Verhältnisse stehe, als es bei dem Menschen der Fall ist; diese Voraussetzung möchte immer noch bei den gebräuchlichen Kraftmaschinen stattfinden, und somit wird auch von ihrer Anwendung auf die Luftschifffahrt wenig zu erwarten sein. Bevor nun nicht Kraftmaschinen erfunden werden, die mit einem geringen absoluten Gewichte doch eine bedeutende Arbeitsfähigkeit verbinden, wird die Sache der Luftschifffahrt keine wesentlichen Fortschritte machen können; werden solche Maschinen aber erfunden, so wird ihre Anwendung auf Beförderung des Transports auf der festen Erdoberfläche oder auf dem Meere vielleicht immer noch erfolgreicher bleiben, als auf die Entwickelung der Luftschifffahrt. W. S.

Luftpumpe heißt eines der bekanntesten und wichtigsten physikalischen Instrumente, welches dazu dient, innerhalb eines abgeschlossenen Raumes die Luft zu verdünnen. Man unterscheidet vorzugsweise zwei Arten von Luftpumpen, nämlich die Hahn- und Ventil-Luftpumpen.

Die Haupttheile der Hahnluftpumpe, welche beistehende Fig. I. in einfachster Form darstellt, sind folgende. Ein inwendig gleichmäßig glatt polirter Cylinder von Metall oder von Glas, bd, welcher der Stiefel genannt wird. Ein in diesen Cylinder genau passender Kolben, welcher entweder aus Metall verfertigt und der genaueren Schließung wegen mit in Oel getränktem Leder umwickelt ist, oder aus (zwischen Metallplatten) zusammengepreßten, auf der Drehbank genau abgerundeten, in Oel getränkten Lederscheiben besteht. Der Kolben sitzt an einer Stange, welche entweder oben einen Griff hat, mittelst dessen der Kolben im Cylinder hinabgestoßen und heraufgezogen werden kann, oder die oben gezahnt ist. In die Zähne der Stange greifen dann die Zähne eines Rades, und so wie dieses mittelst einer Kurbel rechts oder links herum gedreht wird, geht der Kolben hinab oder herauf. — Ein metallener sehr ebener Teller tt, der wohl noch mit einer matt geschliffenen Glasplatte bedeckt ist. In der Mitte desselben befindet sich eine kleine Oeffnung, die in eine Verbindungs-(Communications-)röhre f führt, welche Teller und



Cylinder verbindet, indem sie eine Oeffnung im Boden des Stiefels mit der genannten Oeffnung im Teller in Verbindung setzt. — Ein Gefäß, (lat.) Recipient, gewöhnlich eine starke Glasglocke r, (lat.) Campane, mit sehr eben abgeschliffenem Rande, welches auf den Teller gesetzt werden kann. — Ein doppelt durchbohrter Hahn h, nach seinem Erfinder Senguerd'scher Hahn genannt, welcher quer durch die Verbindungsröhre geht und dazu dient, bei einer gewissen Stellung Cylinder und Glocke, bei einer anderen Cylinder und atmosphärische Luft, bei einer dritten endlich Glocke und atmosphärische Luft in Verbindung zu setzen. Die eine Durchbohrung geht senkrecht auf seine Axe durch ihn hindurch und ist in den Fig. I. und II. (durchschnittlich) gezeichneten Hähnen durch m angedeutet. Die zweite Durchbohrung geht von einer Seitenöffnung r nach dem hinteren Theile des Hahnes (I.) oder nach dessen Vordertheile (II.). Keine



Durchbohrung darf mit der anderen zusammentreffen. Die verschiedenen Stellungen des Hahnes sind durch Fig. III., IV. und V. versinnlicht. Es bezeichne nämlich A den Hahn, welcher ein abgestumpfter, oben mit einem Handgriff versehener Kegel ist, und a b das ebenfalls kegelförmig durchbohrte Stück der Verbindungsröhre, in welchem der Hahn sitzt; a sei die innere Bohrung der Verbindungsröhre, welche nach dem Innern des Cylinders führt, b die innere Bohrung der Verbindungsröhre, welche unter dem Recipienten durch den Teller geht; so stehen bei der in Fig. III. abgebildeten Stellung offenbar Recipient und Cylinder in Verbindung durch die offene Röhre a b, während die äußere Luft abgeschlossen ist. Bei der durch eine Viertelsdrehung des Hahnes hervorgebrachten Stellung Fig. IV. steht die äußere Luft mit dem Innern des Cylinders durch den Canal c a in Verbindung, während die Luft unter der Glocke abgeschlossen ist. Bei der Stellung des Hahnes Fig. V. endlich steht die äußere Luft mit der Luft unter der Glocke in ungehinderter Verbindung durch den Canal c b, während die nach dem Innern des Cylinders führende Mündung a verschlossen ist.

Die Anwendung der eben beschriebenen Luftpumpe ist nun folgende. Wenn der Kolben sich auf dem Boden des Cylinders befindet, und der Hahn so steht, daß die Verbindung zwischen Cylinder und Recipient hergestellt ist, so wird beim Heraufziehen des Kolbens unter diesem ein luftleerer Raum entstehen. Die Luft im Recipienten und in der Verbindungsröhre dehnt sich aber in Folge ihrer Expansivkraft aus, geht unter den Kolben und erfüllt, natürlich mit geringerer Dichte als vorher, Recipient, Verbindungsröhre und Cylinder (Stiefel). Ist der Kolben an der oberen Mündung des Stiefels angelangt, so werde der Hahn so umgedreht, daß die Verbindung zwischen dem Innern des Stiefels und der Atmosphäre hergestellt, die Luft im Recipienten dagegen abgeschlossen ist. Hierauf bewege man den Kolben im Stiefel herab, die Luft aus dem Stiefel entweicht dann durch den Canal des Hahnes. Der Hahn werde jetzt wieder gestellt wie zuerst, nämlich so,

daß er eine Verbindung zwischen Recipient und Stiefel herstellt. Wird nun der Kolben wieder emporgezogen, so dehnt sich aufs neue die Luft im Recipienten aus und erfüllt mit noch geringerer Dichte Recipient, Verbindungsröhre und Stiefel. So oft nun das eben beschriebene Verfahren wiederholt wird, findet eine Verdünnung der Luft im Recipienten statt, indem dieselbe fortwährend erst zur Ausbreitung in einem größeren Raum bestimmt und nachher zum Theil ausgetrieben wird. Nach jedem Kolbengange füllt eine geringere Quantität Luft das sich gleich bleibende Volumen des Recipienten aus, und es wird natürlich auch eine immer geringere Menge Luft ausgepumpt. Das Stück der Verbindungsröhre oberhalb des Hahnes bis zum Boden des Stiefels (Fig. I.) ist jedesmal bei der Stellung des Hahnes, wo das Innere des Stiefels mit der Atmosphäre in Verbindung tritt, mit Luft von der Dichte der atmosphärischen erfüllt. Diese Quantität Luft wird beim Niedergange des Kolbens nicht ausgetrieben. Wendet man nun den Hahn, nachdem der Kolben den niedrigsten Stand erreicht, so, daß der Canal zwischen Recipient und Stiefel offen ist, so breitet sich augenblicklich die Luft, welche in dem angegebenen Raume zurückgeblieben, aus und erfüllt den Recipienten. Da jener Raum der Wirksamkeit der Luftpumpe offenbar nachtheilig entgegen wirkt, und zwar um so mehr, je größer er ist, so wird er der schädliche Raum genannt. Derselbe wird desto unbedeutender, in je geringerer Entfernung vom Boden des Stiefels der Hahn angebracht ist. Man giebt gewöhnlich die äußerste Grenze der Luftverdünnung durch den Bruch $\frac{s}{S}$ an, dessen Zähler die Größe des schädlichen Raumes und dessen Nenner der Rauminhalt des Stiefels sammt schädlichem Raume ist.

Man ist bemüht gewesen, den schädlichen Raum ganz zu beseitigen. Die ersten Vorschläge rühren wohl von Gervinus und Parrot her *), indem sie eine conische Form des Kolbens empfahlen, die bis auf den Hahn herabgehen sollte. Hierauf benutzte Muncke dieses Princip zur Construction einer Luftpumpe ohne schädlichen Raum. Man macht den kleinen Canal, welcher vom Boden des Stiefels nach dem Hahne führt, kegelförmig und bringt auf dem Kolben unten einen entsprechenden Conus (Kegel) an, wie nebenstehende Figur dies veranschaulicht. Dann dringt der Kolben beim Herabgehen in den nicht mehr schädlichen Raum ein und vertreibt die Luft aus demselben. Dieser Vorschlag ist vor einiger Zeit von Ed. Schöbl **) erneuert worden. Der Boden des Stiefels wird conisch ausgehöhlt, so daß die Spitze dieser Höhlung mit dem oberen Ende der Bohrung des Hahnes zusammenfällt. In diese Höhlung paßt luftdicht eingeschliffen ein massiver Kegel, der die untere Platte des Kolbens vertritt, und mit seinem Scheitel genau bis zur Bohrung des Hahnes reicht, wie umstehende Fig. I. im Durchschnitt zeigt. Wird nun der Kolben herabgedrückt, so muß die sämmtliche im Stiefel enthaltene Luftmasse durch die Bohrung des Hahnes entweichen. — Wir werden indeß sehen, daß



*) Gött. Gelehrt. Anz. 1798. Nr. 202; Voigt, Mag Th. I. St. 2. S. 159. Th. II. St. 1. S. 182. Th. IV. St. 2. S. 234.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 544.

selbst nach Beseitigung des schädlichen Raumes eine absolute Luftleere unter dem Recipienten durch die Thätigkeit der Maschine allein nicht hergestellt werden kann.

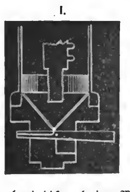
Das Auspumpen der Luft aus dem Recipienten nennt man wohl auch evantliren (v. d. griech. ἐξαντλέω, ausleeren) oder evacuiren (lat. evacuare, ausleeren).

Soll nach Beendigung der im luftverdünnten Raume angestellten Versuche wieder Luft unter den Recipienten gelassen werden, so giebt man dem Hahne diejenige Stellung, bei welcher das Innere des Recipienten mit der Atmosphäre in Verbindung tritt. Alsbald bläst Luft aus der Atmosphäre in das Innere des Recipienten, bis die Luft in ihm wieder von derselben Dichte wie die atmosphärische Luft ist.

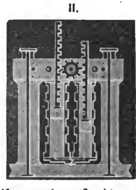
Es sei hier noch beiläufig bemerkt, daß bei vielen älteren Hahnluftpumpen statt des einen Senguerd'schen Hahnes zwei einfache Hähne an dem Verbindungsstücke zwischen Recipient und Stiefel angebracht sind, von denen der eine den Recipienten mit dem Stiefel, der andere den Stiefel mit der äußeren Luft abwechselnd in Gemeinschaft setzt.

Eine zweistiefelige Hahnluftpumpe zeigt beistehende Fig. II. im Durchschnitt. Die genau ausgeschliffenen und calibrirten Stiefel bestehen aus Messing,

I.



II.

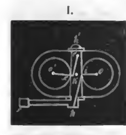


und sind noch mit dicken, breiten Messingreifen umgeben. In jedem Stiefel ist ein Kolben beweglich, der aus zusammengepreßten, geölten Lederscheiben zwischen messingenen Deckplatten besteht. Die Kolbenstangen sind vierkantige, breite Messingstäbe, welche an der schmalen Seite, wie man sieht, mit Zähnen versehen sind. In die letzteren greift ein Treibrad ein, das mittelst eines Haspels gedreht wird. Die Axe des Rades und Haspels besteht größerer Dauerhaftigkeit wegen vortheilhaft aus Stahl. Wenn man nun das Rad mittelst des Haspels dreht, so bewegt sich der eine Kolben aufwärts, der andere abwärts, und sobald der erstere seinen höchsten, der letztere seinen tiefsten Stand erreicht hat, dreht man in entgegengesetzter Richtung. So bewegt sich in jedem Stiefel der Kolben bald auf-, bald abwärts. Steigt der Kolben, so nimmt der Stiefel Luft aus dem Recipienten auf, während im anderen Stiefel die vorher aus dem Recipienten aufgenommene Luft durch den Niedergang des Kolbens ins Freie getrieben wird. Bei der einstiefeligen Luftpumpe wird während der Verdünnung der Luft im Recipienten das Aufziehen des Kolbens immer schwieriger, weil die äußere Luft immer mehr das

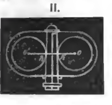
Uebergewicht gegen die innere erlangt. Der Niedergang des Kolbens wird freilich demgemäß auch immer leichter. Bei einer zweistiefeligen Luftpumpe hebt sich der Druck der äußeren Luft auf den einen Kolben großentheils gegen den auf den anderen, so daß nur noch die Reibung als Bewegungshinderniß bleibt. Es wird aber auch bei einer Luftpumpe letzterer Art die Zeit abgekürzt, welche nöthig ist, um einen bestimmten Grad der Luftverdünnung hervorzubringen.

Auf dem Boden der obigen zweistiefeligen Luftpumpe ist ferner eine dicke Platte von Messing befestigt, auf welcher die Stiefel mit ihren unteren Rändern luftdicht aufgeschliffen sind. Diese Platte ist ihrer Breite nach kegelförmig durchbohrt, und von diesem Canal t geht innerhalb der Platte zu beiden Seiten ein aufwärts gekrümmter Canal zu den runden Löchern o, o, welche in die Stiefel münden. Bei t befindet sich aber in jenem kegelförmigen Canal ein sehr genau schließender, von Graßmann *) construirter Hahn, der dreifach durchbohrt ist, und den Zweck hat, die Wirkung des schädlichen Raumes in den seitlichen Canälen beträchtlich zu verringern. Die nebenstehende Fig. I. zeigt diesen Hahn im horizontalen Durchschnitt. Die beiden Kreise bezeichnen die Stiefel, o und o die erwähnten runden Oeffnungen in denselben, o i und o' r die seitlichen Canäle in der Bodenplatte. h h' ist der kegelförmige Hahn selbst, der eine Durchbohrung von i nach h und eine andere von r nach e enthält. Das Loch e durchbohrt den Hahn senkrecht auf seiner Axe, und eben so ist auch bei k ein Loch, welches quer durch den Hahn hindurch geht. Von dem Loche e führt ein Rohr nach dem Teller der Pumpe in den Recipienten, dessen Luft durch dieses Rohr mit r und o' in Verbindung steht. Der Hahn kann nun mittelst des Hebels oder Schlüssels h s gedreht werden. Liegt der letztere, wie hier links, und geht der Kolben im Stiefel rechts hinab, so entweicht die Luft aus dem letzteren durch den Canal o i h ins Freie. Die Luft im Recipienten ergießt sich aber zum Theil durch das erwähnte Rohr und den Canal e r o' in den Stiefel links, dessen Kolben in die Höhe geht. Dreht man jetzt den Hahn, bis der Schlüssel vertical aufrecht steht, so ergiebt sich eine Stellung, wie beistehende Fig. II. zeigt. Der eine Stiefel steht nun mit dem anderen durch den Canal k in Verbindung, und die im schädlichen Raume o k enthaltene Luft entweicht durch k in den Stiefel links, in dessen Raume die Luft verdünnt ist. So wird denn auch die Luft des schädlichen Raumes verdünnt, und zwar um so mehr, je größer der Inhalt des Stiefels im Verhältniß zu diesem Raume ist. — Dreht man den Schlüssel abermals um 90° weiter, wodurch derselbe eine der anfänglichen entgegengesetzte Lage erhält, so ist die Stellung des Hahnes wie in beisteh. Fig. III. Der Kolben im Stiefel rechts geht

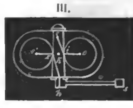
I.



II.



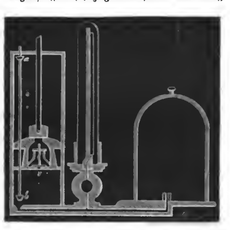
III.



*) Gilbert's Ann. Bd. LXV. S. 392.

in die Höhe, und die Luft des Recipienten ergießt sich durch e, i und o in diesen Stiefel, eben so die nun stark verdünnte Luft aus dem schädlichen Raume o i. Im Stiefel links geht der Kolben herunter, und treibt die hier befindliche Luft durch o'r h ins Freie. Es wird dann hier, sobald der Kolben den Boden erreicht hat, o'r der schädliche Raum, dessen Luft in der vorigen Weise verdünnt wird, wenn man den Schlüssel um 90° zurückdreht. Dreht man aber noch 90° weiter, so daß der Schlüssel wieder seine anfängliche Lage bekommt, so wiederholt sich das beschriebene Spiel, um die bereits verdünnte Luft von Neuem zu verdünnen. Man hält es für rathsam, den Hahn, wenn er die senkrechte Stellung hat, ein wenig anzuhalten, damit die Luft im schädlichen Raume Zeit gewinne, sich in den luftverdünnten Stiefel zu ergießen. Gute Luftpumpen der vorbeschriebenen Art sind namentlich von Pistor und Schieck verfertigt worden. Mit solchen Luftpumpen kann man die Verdünnung bis auf $^1/_{200}$ und selbst bis auf $^1/_{300}$ der anfänglichen Dichte bringen, wenn man die Wasserdünste im Recipienten durch ein hineingestelltes Gefäß mit Chlorcalcium oder Schwefelsäure entfernt.

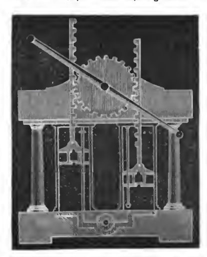
Eine Ventilluftpumpe, bei der jedoch der Gebrauch von Hähnen nicht ausgeschlossen ist, zeigt beistehende Abbildung. Im Stiefel sieht man den Kolben mit dem Ventil v und einer Stange a b. Das Ventil bleibt beim Aufgange des Kolbens hermetisch verschlossen, öffnet sich aber leicht von unten nach oben, wenn der Kolben abwärts geht. Sitzt der Kolben fest auf dem Boden des Stiefels, so verschließt der abgestumpfte Kegel b am Ende der Stange die unter ihm befindliche conische Oeffnung, so daß die obere Fläche des Kegels mit dem Boden des Stiefels in derselben Ebene liegt. In dem Canale, welcher den Recipienten mit dem Stiefel verbindet, befindet sich ein Senguerd'scher Hahn. Wird



der Kolben, wenn er auf dem Boden des Stiefels sitzt, gehoben, so entsteht unter ihm ein luftleerer Raum, in welchem ein Theil der Luft aus dem Recipienten sich verbreitet, indem mit dem Kolben auch die Stange a b gehoben wird, welche sonst die zum Canal führende conische Oeffnung schließt. Die Stange stößt aber während der Hebung des Kolbens bald mit dem Absatze a an die obere Platte des Stiefels, worauf sich der Kolben längs der Stange mit einiger Reibung fortbewegt. Beim Niedergange des Kolbens wird die conische Oeffnung wieder geschlossen, und die abgeschlossene comprimirte Luft muß dann durch das Ventil v entweichen, bis der Kolben wieder auf dem Boden des Stiefels angekommen ist. Die Grenze der Luftverdünnung ist hier erreicht, sobald die Luft beim Niedergange des Kolbens das Ventil nicht mehr zu heben vermag.

Die Ventile, deren man sich bedient, sind Blasen-, Taffet-, Leder- oder wohl auch Metallventile. Bei den ersteren hat der in der Mitte durchbohrte Kolben

oben einen Einschnitt mit parallelen Kanten. Ein Streifen von Thierblase oder geöltem Taffet, so breit wie der Einschnitt, ist so befestigt, daß er die Durchbohrung vollständig bedeckt. Drückt nun die Luft von oben her gegen die Blase, so wird diese nur um so fester in die Oeffnung gedrückt und läßt daher in diese keine Luft eintreten; drückt im Gegentheil die Luft von der unteren Seite gegen die Blase, so giebt die Blase nach und läßt die Luft durch die Ventilöffnung austreten. Oder es befindet sich in der Höhlung des Kolbens eine leichte Klappe, welche mit ihrer unteren Fläche auf einem dünnen vorspringenden Rand der unteren Kolbenfläche aufliegt, und deren Stiel von einem durch einen Bügel gehaltenen durchbohrten Stege gelenkt wird. Durch einen Druck von oben wird sie geschlossen, durch einen Druck von unten aber geöffnet.

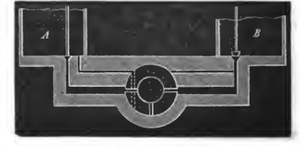


Man kann auch hier zwei Stiefel zusammenwirken lassen, indem man sie so mit einander verbindet, daß jeder Stiefel beim Hinaufgehen des Kolbens verdünnt, während im anderen die vorher aus dem Recipienten aufgenommene Luft beim Niedergange des Kolbens hinausgetrieben wird.

Wenn der Kolben seinen niedrigsten Stand erreicht hat, bleibt unmittelbar unter dem Kolbenventil noch ein Raum übrig, in dem sich ein gewisses Luftquantum von der Dichte der atmosphärischen Luft befindet, da das Ventil bei dem vorhergehenden Kolbenstoße sich öffnete und der eben genannte Raum mit der Atmosphäre communicirte. Bezeichnet man diesen schädlichen Raum durch s und das erwähnte Luftquantum durch m, so ist des letzteren Dichte (bei dem niedrigsten Stande des Kolbens) $= \frac{m}{s}$. Dagegen ist die Dichte der im Stiefel enthaltenen Luft, wenn der Kolben am höchsten steht, $= \frac{m}{S}$, falls S den Rauminhalt des Stiefels bezeichnet, und dies ist auch die Dichte der im Recipienten enthaltenen Luft, sobald die Grenze der Verdünnung erreicht ist. Anfänglich enthält also der Recipient Luft von der Dichte $\frac{m}{s}$, am Ende der Operation aber solche von der Dichte $\frac{m}{S}$. Die Grenze der Luftverdünnung wird demnach durch den Bruch $\frac{s}{S}$ ausgedrückt, und diese Grenze ist erreicht, wenn die unter dem Kolben befindliche Luft beim Niedergange desselben das Ventil nicht mehr zu heben vermag.

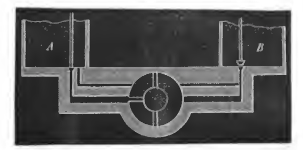
Babinet hat nun für die beschriebene Fortin'sche Ventilluftpumpe einen

Hahn construirt, vermittelst dessen die Verdünnung noch beträchtlich weit über die eben angegebene Grenze fortgesetzt werden kann. Dieser Hahn befindet sich da, wo die von dem Stiefel kommenden Canäle in den zum Recipienten führenden Canal einmünden. Dieser Hahn besitzt eine vierfache Bohrung. Ein Canal geht durch seine Länge und liegt in der Axe des Hauptcanals der Luftpumpe. In diesen Längencanal münden drei Quercanäle, von denen zwei einander gegenüberliegen, während der dritte auf ihrer Richtung senkrecht ist. Wenn evacuirt werden soll, wird der Hahn so gedreht, daß die beiden gegenüberliegenden Quercanäle in der Axe der Canäle liegen, welche nach den Stiefeln der Luftpumpe gehen. Der dritte Quercanal ist dann von der Wand eines abgestumpften Kegels, worin der Hahn sich befindet, verschlossen. Sobald nun die obige Grenze der Luftverdünnung erreicht ist, dreht man den Hahn um 90°, wodurch der dritte Quercanal desselben in den Canal zu liegen kommt, welcher nach dem einen Stiefel, etwa A, (s. umsteh. Fig.) geht. Die beiden anderen Canäle des Hahnes sind dann



verschlossen, und die Luft aus dem Recipienten kann nur in diesen einen Stiefel gelangen. Der andere Stiefel communicirt aber jetzt nicht mehr mit dem Recipienten, sondern mittelst der Röhre c mit dem Stiefel A, welche (Röhre), wenn der Kolben des Stiefels B den höchsten Stand erreicht hat und dann niedergeht, verschlossen sein muß. Diese Communication zwischen dem Recipienten und dem einen oder dem anderen Stiefel kann leicht vermittelst eines kleinen durch den massiven Theil des Hahnes gehenden Canals bewirkt und wieder aufgehoben werden. Dieser Hahn liegt in der Axe der Röhre, wenn der Kolben des Stiefels A am höchsten steht und niederwärts gehen soll. Steigt der Kolben des Stiefels A, so ergießt sich ein Theil der noch im Recipienten enthaltenen Luft in diesen Stiefel, nicht aber auch in den Stiefel B, da der Kolben des letzteren niederwärts geht und der damit verbundene Stab die Röhre c mit seinem unteren kegelförmigen Ende verschließt. Geht dagegen der Kolben des Stiefels A niederwärts, so treibt er die darin enthaltene Luft durch die jetzt offene Röhre c in den Stiefel B. Hierbei bleibt das Ventil des Kolbens in A verschlossen, während die beständig in den Stiefel B getriebene Luft eine hinreichende Elasticität erhält, um das Kolbenventil dieses Stiefels zu öffnen und in die Atmosphäre zu entweichen. Man wird erkennen, daß auf diese Weise die im Recipienten enthaltene Luft noch weiter verdünnt werden kann. Blickt man aber zurück auf den früher beschriebenen Graßmann'schen Hahn, so sieht man, daß dieser von Anfang an in Thätigkeit ist, indem beide Stiefel abwechselnd zur Verdünnung

der Luft im schädlichen Raume beitragen, daß dagegen der Babinet'sche Hahn erst in Wirksamkeit tritt, wenn bereits eine gewisse Grenze der Luftverdünnung



nach gewöhnlicher Weise erreicht ist. Die Luft wird dann aus dem Recipienten in den einen Stiefel und aus diesem in den anderen gebracht, um von hier in die Atmosphäre getrieben zu werden.

Die zweite Grenze der Verdünnung, welche durch Anwendung des Babinet'schen Hahnes erreicht werden kann, läßt sich auf dem Wege der Rechnung bestimmen. Es sei m wieder die Luftmasse des schädlichen Raumes s in dem oben angegebenen Sinne (S. 721 ff.), S der Rauminhalt des Stiefels und s' derjenige der Röhre c. Hat nun der Kolben des Stiefels B seinen höchsten und der in A den niedrigsten Stand erreicht, so ist die Dichte der Luft in B, $= \frac{m}{s}$, und dies ist auch, da jetzt beide Stiefel mit einander communiciren, die Dichte der Luft in dem Raume $s + s'$, welcher unter dem Kolben des Stiefels A vorhanden bleibt. Die in A enthaltene constante Luftmasse ist deshalb $= \frac{m}{S}(s + s')$. Dieselbe nimmt nun, wenn der Kolben dieses Stiefels in die Höhe geht, den Raum $S + s'$ ein, und ihre Dichte ist dann, wie auch die unter dem Recipienten, $= \frac{m}{S}\left(\frac{s + s'}{S + s'}\right)$. Die Volumseinheit des Recipienten enthielt anfänglich die Luftmasse $\frac{m}{s}$, nach Anwendung des Babinet'schen Hahnes aber, wenn dieser keine Wirkung mehr übt, enthält sie noch die Luftmenge $\frac{m}{S}\left(\frac{s + s'}{S + s'}\right)$. Es ist daher die Grenze der Luftverdünnung, welche durch Anwendung des Babinet'schen Hahnes erreicht werden kann, $\frac{s}{S}\left(\frac{s + s'}{S + s'}\right)$. Könnte der Raum s' auf Null gebracht werden, so hätte man $\frac{s^2}{S^2}$, d. h. die Dichte der im Recipienten zurückbleibenden Luft würde sich zu der, welche ohne Mitwirkung dieses Hahnes darin zurückbleibt, verhalten, wie die Dichte dieser letzteren zur Dichte der atmosphärischen Luft. Man muß deshalb den Canal s' so klein als thunlich machen.

Den Druck der im Recipienten verdünnten Luft und demgemäß den Grad der Luftverdünnung erfährt man mitteist der sogenannten **Barometerprobe**, welche entweder unter die Glocke gestellt wird oder zweckmäßiger mit der Luftpumpe in bleibende Verbindung gesetzt ist. In diesem Falle ist die Barometerprobe, im Wesentlichen ein abgekürztes Heberbarometer, in einer Glasglocke eingeschlossen, die durch einen Hahn mit dem Recipienten in Communication gesetzt werden kann. Die beiden Schenkel des Barometers sind von gleicher Länge, und jeder ist etwa 4 bis 6″ lang. Der eine Schenkel ist oben verschlossen und mit luftfreiem Quecksilber angefüllt, der andere aber offen. Bei dem gewöhnlichen Drucke der atmosphärischen Luft ist jener Schenkel von dem Quecksilber ganz erfüllt, da dieses wegen der Kürze des Schenkels nicht sinken kann; sobald aber während der Verdünnung der Druck der umgebenden Luft schwächer wird, sinkt das Quecksilber in diesem Schenkel und steigt in dem anderen offenen. Der Grad der Luftverdünnung ergiebt sich durch den Unterschied der Quecksilberhöhen in beiden Schenkeln. Ist dieser Unterschied d und der gewöhnliche Barometerstand B, so ist die Dichte der Luft im Recipienten $= \frac{d}{B}$ der äußeren Luft. Zwischen den Schenkeln der Barometerprobe befindet sich eine Theilung. Könnte man die Luft aus dem Recipienten ganz entfernen, so müßte in beiden Schenkeln das Quecksilber gleich hoch stehen. Bei vielen mit der Luftpumpe anzustellenden Versuchen genügt indessen eine Luftverdünnung, bei welcher die Differenz der Quecksilberhöhen in beiden Schenkeln etwa 1 bis $^1/_2$ Zoll beträgt, bei anderen darf sie 1 Linie nicht übersteigen. Die Barometerprobe dient auch als Mittel, um zu erfahren, ob alle Theile der Luftpumpe, wie sie sollen, luftdicht schließen. Ist dies nicht der Fall, tritt durch irgend welche feine Oeffnungen Luft in den Recipienten, so zeigt dies die Barometerprobe an, indem sich das Quecksilber in dem verschlossenen Schenkel sofort wieder hebt. Bei einer guten Luftpumpe muß die Barometerprobe nicht allein auf einen sehr niedrigen Stand gebracht werden können, sondern sie muß auch auf demselben längere Zeit verharren.



Bei manchen Luftpumpen ist eine andere Art von Barometerprobe angebracht. Eine etwas über 28 Zoll lange Glasröhre, welche an beiden Enden offen ist, geht mit dem einen Ende durch den Teller in den Recipienten der Luftpumpe, während das andere Ende in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß reicht. Bevor ausgepumpt wird, steht das Quecksilber in der Röhre auf demselben Niveau wie in dem Gefäße, weil die Luft mit derselben Kraft auf das Quecksilber in der offenen Röhre vom Recipienten aus drückt, wie auf das Quecksilber im Gefäß. Wird aber die Luft ausgepumpt, so vermindert sich natürlich der Druck der Luft auf das Quecksilber in der Röhre, während der Druck auf das Quecksilber im Gefäße derselbe bleibt. Die Folge ist, daß sich das Quecksilber in der Röhre gemäß dem Grade der Luftverdünnung erhebt. Könnte man den Recipienten ganz entleeren, so würde sich die Quecksilbersäule bis zu 28 Zoll über das Niveau des Quecksilbers im Gefäß erheben.

Ein anderes Prüfungsmittel ist die sogenannte Birnprobe, eine unter der Glocke befindliche cylindrische, etwa 6 Zoll lange und 0,2 Linien weite, oben verschlossene Glasröhre, die sich unten in einen birnförmigen Bauch endigt. Dieselbe ist nach ihrem Inhalt von unten an in eine gewisse Anzahl von Abtheilungen getheilt, welche aliquote Theile des Ganzen von oben an gerechnet ergeben. Unter der freien unteren Oeffnung steht ein Gefäß mit Quecksilber, in welches dieselbe vermittelst eines durch die Glocke luftdicht gehenden Drahtes hinabgedrückt werden kann. Beim Auspumpen wird die Verdünnung in der Birnprobe wie unter der Glocke vor sich gehen. Drückt man dann die Oeffnung der Birnprobe vermittelst jenes Drahtes in das Quecksilber, und läßt die äußere Luft wieder unter die Glocke treten, so wird diese Luft das Quecksilber in der Röhre der Birnprobe, dem Grade der Verdünnung gemäß, in die Höhe treiben. Aus der Höhe des Quecksilbers erfährt man hier aber noch nicht ohne Weiteres den Grad der Luftverdünnung, sondern es ist noch (wegen des Quecksilbers im birnförmigen Theile) eine Correction erforderlich. Um diese jedoch zu ersparen, hebt man die Birnprobe mittelst des Drahtes wieder aus dem Quecksilber, wo dann dasselbe aus dem weiteren birnförmigen Theile ausläuft, in der engen Röhre aber hängen bleibt. Nimmt man sie nun unter der Glocke weg und hält sie horizontal, so giebt die Größe des oberen, vom Quecksilber nicht erfüllten Theils durch die aufgezeichnete Zahl den Grad der Verdünnung an. Eine weiter eingehende Betrachtung dieser Vorrichtung würde unnütz sein, da dieselbe unbequem und nicht einmal hinreichend genau ist, wie dies bereits Nairne und Cavendish dargethan *) haben.

Theoretisch läßt sich der Grad der Luftverdünnung nach der Anzahl der Kolbenzüge folgendermaßen bestimmen. Abgesehen vom schädlichen Raume sei der Rauminhalt des Stiefels (ohne Kolben) $= b$, der des Recipienten $= a$. Die Luft im Recipienten hat ursprünglich die Dichte der atmosphärischen Luft, und diese Dichte kann man $= 1$ setzen. Es befindet sich also im lufterfüllten Recipienten eine Quantität Luft von der Dichte $= 1$. Durch den ersten Kolbenhub breitet sich nun die Luft des Recipienten im Stiefelraume aus, und dieselbe nimmt folglich jetzt einen Raum $a + b$ ein. In demselben Verhältnisse aber, in welchem sich die Luft ausdehnt, vermindert sich auch ihre Dichte, und wenn wir ihre Dichte nach dem ersten Kolbenhub mit x bezeichnen, so haben wir:

$$x : 1 = a : a + b, \text{ also } x = \frac{a}{a + b}.$$

Durch das jetzt erfolgende Niedergehen des Kolbens wird die aus dem Recipienten in den Stiefel getretene Luft in die Atmosphäre getrieben, während im Recipienten Luft von der Dichte $\frac{a}{a + b}$ zurückbleibt. Beim nächsten Kolbenhub nimmt diese dünnere Luft abermals den Raum $a + b$ ein, und wir haben für die Dichte x der Luft nach dem zweiten Kolbenhub

$$x : \frac{a}{a + b} = a : a + b, \text{ folglich } x = \frac{a^2}{(a + b)^2},$$ und für die Dichte der Luft nach dem dritten Kolbenhube

*) Phil. Trans. for 1777. Hutton Dict. T. I. p. 66.

$$x : \frac{a^2}{(a+b)^2} = a : a + b, \text{ oder } x = \frac{a^3}{(a+b)^3}.$$

Im Allgemeinen also für die Dichte x der Luft nach dem $n$ten Kolbenhube

$$x = \frac{a^n}{(a+b)^n}.$$

Diese Formel lehrt, daß selbst mit der vollkommensten Luftpumpe keine absolute Luftleere unter dem Recipienten bewirkt werden kann. Es würde dies nur dann stattfinden, wenn der Rauminhalt b des Stiefels in Bezug auf den Rauminhalt des Recipienten unendlich groß wäre, ein Verhältniß, das sich nicht realisiren läßt. Es ist möglich, daß selbst dann, wenn die Barometerprobe keine Anwesenheit von Luft im Recipienten mehr verrathen sollte, dennoch solche vorhanden ist, aber freilich von so geringer Expansivkraft, daß sie keinen merklichen Druck mehr auszuüben vermag. — Die aufgestellte Formel giebt übrigens für eine gewisse Anzahl von Kolbenzügen einen höheren Grad der Luftverdünnung an, als in der Wirklichkeit durch diese Kolbenzüge erreicht werden kann, was wohl gewiß nur in der unvermeidlichen Unvollkommenheit des Apparates seinen Grund hat.

Nach Andrews *) läßt sich, wenn man vorsichtig verfährt, mit geringer Mühe der Recipient so vollständig ausleeren, daß die Luft keine bemerkbare Spannkraft mehr ausübt, und das Vacuum eben so vollständig wird als das Toricelli'sche im Barometer, in welchem auch noch etwas Luft neben einigem Quecksilberdampf vorhanden ist, doch so wenig, daß die Depression des Quecksilbers nur $^1/_{100000}$″ beträgt. Man setzt unter den Recipienten der Luftpumpe zwei offene Gefäße über einander, von denen das untere concentrirte Schwefelsäure, das obere eine dünne Schicht concentrirter Kalilauge enthält und zwar in einem Verhältniß, daß die erstere im Stande ist, die letztere erst in 5 bis 6 Stunden einzutrocknen, ohne selbst dadurch bedeutend geschwächt zu werden. Nun pumpt man bis auf 0,3 — 0,4″ aus und schließt den Hahn unter dem Teller. Dann verbindet man die zur Einlassung von Luft bestimmte Röhre mit einem Gasometer, welches luftfreie Kohlensäure enthält, entfernt aus den Verbindungsröhren durch abwechselndes Auspumpen und Einlassen der Kohlensäure alle Luft, und läßt nun die Kohlensäure in den Recipienten. Ist äußerste Genauigkeit erforderlich, so wiederholt man diese Operation dreimal. Die Kohlensäure, welche die rückständige Luft verdrängt hat, wird von der Kalilauge absorbirt, und der Wasserdampf von der Schwefelsäure. Als zum dritten Mal bei 0,5″ ausgepumpt war, zeigte die Barometerprobe

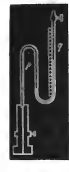
in 15 Minut.	einen	Druck	von	0,25″
„ 30′	„	„	„	0,17″
„ 80′	„	„	„	0,10″
in 200′	„	„	„	0,02″

Nach 12 Stunden war noch ein Niveauunterschied bemerkbar, der aber nach 36 Stunden verschwunden war. Dieses Vacuum blieb 14 Tage unverändert.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 309.

Man kann nun die Luftpumpe auch gebrauchen, wenn man die Luft in einem gegebenen Raume verdichten will. Die Hahnluftpumpen können ohne Weiteres als Verdichtungspumpen benutzt werden, falls man nur die Hähne in anderem Sinne wie bei der Verdünnung, nämlich in entgegengesetzter Richtung öffnet und schließt. Das Gefäß, worin die Luft verdichtet werden soll, muß an dem Communicationsrohre, da wo dieses aus dem Teller der Pumpe hervorgeht, aufgeschraubt werden können. Statt dessen kann freilich ein oben und unten offenes cylindrisches Gefäß, z. B. ein starker Glascylinder, auf den Teller gesetzt, oben mit einem luftdicht schließenden Deckel von Messing bedeckt, und vermittelst einer zweckmäßig angebrachten Schraube, welche auf den Deckel wirkt, fest auf den Teller gepreßt werden. Wenn nun der Kolben oben steht, so ist der Stiefel mit atmosphärischer Luft angefüllt, wie der Recipient, worin die Luft zu verdichten ist. Sei a der Rauminhalt des Recipienten, b der des Stiefels. Wird jetzt durch den Hahn die Verbindung zwischen Recipient und Stiefel hergestellt, die Atmosphäre abgeschlossen und der Kolben im Stiefel herabgedrückt, so wird die Luft aus dem Stiefel in den Recipienten getrieben, und die Luftmasse, welche vorher den Raum $a + b$ einnahm, in den Raum a zusammengepreßt. Es verhält sich also, die Dichte der atmosphärischen Luft $= 1$, die Dichte der Luft im Recipienten nach dem ersten Kolbengange $= x$ gesetzt, $x : 1 = a + b : a$, mithin $x = \frac{a + b}{a}$. Die Verdichtung geht nun weiter nach demselben Gesetze fort, welches in umgekehrter Weise für die Verdünnung gilt. Für die äußerste Grenze der Verdichtung hat man aber mit Rücksicht auf den schädlichen Raum, wenn man diesen letzteren durch s und die Größe des Stiefels sammt schädlichem Raume durch S bezeichnet, $\frac{S}{s}$, während die äußerste Grenze der Verdünnung bekanntlich (S. 717 und 721 ff.) durch den Bruch $\frac{s}{S}$ gegeben ist.

Um die Spannkraft der verdichteten Luft zu messen, kann an der Communicationsröhre ein Manometer angebracht werden, das wie die Barometerprobe durch einen Hahn mit dem Recipienten in Verbindung zu setzen ist. Dasselbe besteht aus einer doppelt gebogenen starken Glasröhre, die zum Theil mit Quecksilber gefüllt und in einer metallenen Röhre wohl befestigt ist. Oberhalb des Quecksilbers in q befindet sich Luft, die vor dem Versuche mit der atmosphärischen gleiche Dichte besitzt, so daß das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch steht. Sobald aber vom Schenkel p aus die im Recipienten verdichtete Luft auf die Oberfläche des Quecksilbers in diesem Schenkel drückt, wird das Quecksilber im Schenkel q steigen und die hier befindliche Luft zusammengepreßt werden, und zwar gewiß um so mehr, je größer die Verdichtung der Luft im Recipienten ist. Der Grad dieser Verdichtung ergiebt sich nun aus dem Raume, den die Luft über q jetzt einnimmt, im Verhältniß zu ihrem anfänglichen Volumen.



Eine gewöhnliche Ventilluftpumpe kann man zur Verdichtung der Luft nicht benutzen. Eine solche Pumpe muß zu diesem Behufe eine umgekehrte Anordnung

der Ventile haben, nämlich das Bodenventil muß sich nach dem Recipienten zu und das Kolbenventil nach innen öffnen, oder das letztere ganz wegfallen und die Luft durch eine Seitenöffnung in den Stiefel gelassen werden. Auf diese Weise sind nun meist die eigentlichen Verdichtungspumpen eingerichtet, worüber der Artikel Compressionsmaschinen (Bd. I. S. 995) nachzusehen ist.

Nachdem wir nun das Wesen der Luftpumpe beleuchtet und mehrere der neueren, besseren Einrichtungen dargelegt haben, geben wir einen historischen Ueberblick, wobei wir gelegentlich noch verschiedene andere Arten von Luftpumpen beschreiben werden.

Als Erfinder der Luftpumpe ist Otto v. Guerike (aus Magdeburg) bekannt. Der Stiefel seiner Luftpumpe hatte ein Ventil, und eine Oeffnung für einen Stöpsel; seine Lage war schief und die Gestalt gekrümmt. Die Kolbenstange hatte eine Handhabe, an welcher zwei Personen ziehen konnten. Der Recipient war eine Kugel mit einem Hahne. Mit seiner Luftpumpe stellte O. v. Guerike im Jahre 1654 auf dem Reichstage zu Regensburg öffentlich ins Große gehende Versuche an, unter denen besonders der Versuch mit der sogenannten Magdeburgischen Halbkugel (s. Art. Atmosphäre Bd. I. S. 473) Erstaunen erregte. Durch Caspar Schott *) lernte Robert Boyle **) die Luftpumpe kennen, und dieser nebst Hook gaben derselben eine andere Gestalt. Der Stiefel wurde lothrecht in den Ring eines Dreifußes gestellt, und unter demselben ein durch eine Kurbel bewegliches Getriebe angebracht, welches in eine gezahnte Stange eingriff, und vermittelst dieser den Kolben auf- und abwärts bewegte. Boyle wurde von den Engländern als Erfinder der Luftpumpe betrachtet, und nach ihm der luftverdünnte Raum, welcher durch die Luftpumpe hergestellt wird, die Boyle-sche Leere genannt. Boyle selbst aber erkannte Guerikеn die Ehre der Erfindung zu, obwohl er früher an die Construction einer Luftpumpe gedacht hatte, vor der Ausführung indeß durch C. Schott von Guerike's Erfindung unterrichtet worden war. Joh. Christoph Sturm ***) brachte in dem Kolben der Guerikeschen Luftpumpe ein Blasenventil an, und ließ die Luft durch eine Röhre in der Kolbenstange und eine Oeffnung in deren Handhabe aus dem Stiefel fortschaffen. Dionysius Papinus ****) bediente sich zuerst eines Tellers. Besondere Anerkennung fand eine von Senguerd *****) beschriebene Luftpumpe. Das Eigenthümlichste an ihr ist der oben beschriebene, nach seinem Erfinder benannte doppelt durchbohrte Hahn. Hawskbee †) construirte eine

*) Mechanica hydraulico-pneumatica. Herbipoli 1657. 4. P. II. p. 442.

**) New experiments physico-mechanical, touching the spring and weight of the air. Oxford 1660. Nova experimenta physico-mech. de vi aëris elastica, in Opp. T. I. p. 1.

***) Collegium experimentale sive curiosum. Norimb. 1676. 4. Part. I. Tent. XIII. p. 100.

****) Nouvelles Expériences du Vuide à Paris 1674. 4. A continuation of the New Digestor of Bones. Lond. 1687. 4. Amst. 1688. 12. Part. II. Acta Erud. Lips. 1687. Mense Jun. p. 324.

*****) Philosophia naturalis L. B. 1685. 4. De aëris natura. Lond. 1699. 4. Auch beschrieben in Christ. Wolf's nützlichen Versuchen. Halle 1721. III Theile. 8. Th. I. S. 112. Eben so nebst Beschreibung der älteren Luftpumpen überhaupt in Dissert. de antliis pneumaticis. Auct. Henrico v. Sarden. Vitemb. 1739. 4.

†) A course of mechanical, optical, hydrostatical and pneumatical Experiments. Lond. 1709. 4. Acta Erud. Lips. suppl. T. V. p. 403.

zweistiefelige Luftpumpe, bald darauf auch Leupold, die als eine Vereinfachung der ersteren erscheint. In jedem Kolben befand sich ein Blasenventil, und ein solches auch unter jedem Stiefel in dem gemeinschaftlichen messingenen Verbindungsstück. Eine zweckmäßig construirte doppelte Hahnluftpumpe mit Selbststeuerung der Hähne wurde von s'Gravesande *) angegeben. Diese Selbststeuerung ist auch jetzt noch im Gebrauche. Nollet **) beschrieb zwei Luftpumpen, eine einfache und doppelte, von denen jedoch nur die erstere allgemeineren Eingang fand. Anerkannte Verbesserungen erhielt dann die Luftpumpe durch John Smeaton ***). Das obere Ende des Stiefels wurde mit einem Deckel verschlossen, in welchem eine Lederbüchse angebracht war, durch welche die Kolbenstange luftdicht ging. Dadurch wurde der Druck der äußeren Luft in Wegfall gebracht, und der in dem Kolben befindlichen Luft beim Herabgehen desselben ein leichterer Durchgang durch das Ventil gestattet. Der Deckel war ebenfalls mit einem Ventil versehen. Die Pumpe konnte ebensowohl zum Verdichten als zum Verdünnen der Luft benutzt werden, indem ein Hahn an derselben angebracht war, der an drei gleich weit von einander entfernten Stellen durchbohrt war, dergestalt, daß eine von den Oeffnungen stets mit dem Stiefel und eine mit der freien Luft communicirte. Hiernach war blos eine Drehung des Hahnes um 120° nöthig, um zu verdünnen oder zu verdichten. Diese Smeaton'sche Luftpumpe wurde von den englischen Künstlern Nairne und Blunt noch, namentlich ihrer äußeren Form nach, vortheilhaft abgeändert, und in dieser veränderten Gestalt von Lichtenberg ****) beschrieben. Eine sinnreich construirte, aber auch künstliche und darum etwas schwer herzustellende Luftpumpe war die von Cuthbertson *****). Dieselbe ist zweistiefelig, und hat statt der Blasen-, Kegelventile. Wie man erzählt, soll schon vor Cuthbertson im Jahre 1779 Daniel Rutherford eine Pumpe mit ganz gleichen Kegelventilen angefangen, aber nicht vollendet haben †). Die gewöhnlichen Hahnluftpumpen fanden später wieder Aufnahme durch v. Marum ††). Derselbe verband den Senguerd'schen Hahn mit einem Hebelarme, um die Drehung desselben mit dem Fuße zu bewerkstelligen. Der schädliche Raum war sehr klein. Nach einer Bemerkung von Voigt †††)

---

*) Elementa phil. nat. math. T. II. Lib. IV. cap. 4. J. v. Muschenbroek, Beschreibung der doppelten und einfachen Luftpumpe. Uebers. von Thenn. Leipzig 1785. P. v. Musschenbroek, Essay de phys. Trad. par Massuet. Par. 1739. Anhang.

**) Mém. sur les instruments, qui sont propres aux expériences de l'air. Im Mém. de l'acad. 1740 u. 1741. p. 397. Leçons de phys. exp. T. III. Leç. X. s'Gravesande, oeuvres philosophiques et mathem. Amst. 1774. T. I. No. 5. Stegmann, Beschreibung einer kleinen Luftpumpe. Cassel 1772. Schwed. Abh. Th. XXXVI. S. 121.

***) Phil. Trans. Vol. XLVII. No. 69. p. 414. Kästner's Anfangsgründe der Mathematik. Th. II. Abth. 1. Mechan. und opt. Wiss. Göttingen 1792. Taf. V. Gehler's phys. Wört. N. B. Bd. VI. S. 537. Marbach's physik. Lexik., alte Ausgabe. Bd. III. S. 458.

****) Errleben's Anfangsgründe der Naturlehre. Vierte Aufl. Götting. 1787. Vorr. S. XL.

*****) Description of an improved Air-Pump etc. Amsterd. 1787. Sammlungen zur Physik und Naturgeschichte. Bd. IV. St. 1 u. 2. Leipz. 1788. S. 83.

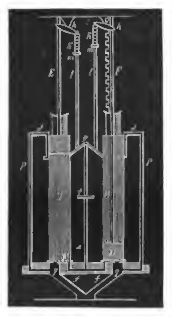
†) Encyclop. Brit. T. XV. p. 107.

††) Description de quelques appareils chimiques cet. 1798. Voigt's Mag. Th. I. St. 3. S. 156. Gilbert's Ann. Bd. I. S. 379.

†††) Mag. Th. I. St. 3. S. 168.

soll Schröder schon früher den schädlichen Raum beseitigt haben, indem er dem Kolben unten eine sphärische Form gab, und hier einen Stift befestigte, welcher bis auf den Hahn herabging. Der Vorschlag, den schädlichen Raum durch einen conischen Kolben, der bis auf den Hahn herabgeht, gänzlich zu beseitigen, ist schon besprochen worden (S. 714).

Schrader *) stellte wohl zuerst eine Luftpumpe mit doppelter Wirkung eines Stiefels her. Hier bewirkt nämlich sowohl das Niedergehen als auch das Aufsteigen des Kolbens Verdünnung der Luft. Eine zweistiefelige Luftpumpe mit einer derartigen Wirkung hat Partington angegeben, die sich durch schnelle Wirksamkeit auszeichnen soll **). Die Kolben C und D in den Stiefeln A und B sind massiv. Die Kolbenstangen E und F gehen durch Stopfbüchsen, welche oben mit Oel angefüllte Schalen tragen. In jedem Stiefel sieht man oben zwei Canäle, von denen der eine von o nach d, p und q und von hier nach der äußeren Atmosphäre geht. Bei d besitzt dieser Canal ein Blasenventil, welches sich nach p hin öffnet. Der andere Canal erstreckt sich von a nach g, und mündet hier in das Rohr, welches zum Recipienten führt. Jeder Stiefel hat auch auf dem oberen Theil seines Bodens zwei Blasenventile b u. E links, u. b u. D rechts; jenes öffnet sich nach außen, dieses nach innen. Durch die beweglichen Stangen l l lassen sich die Canäle g a öffnen und schließen. Von dem Rohre, das zum Recipienten führt, geht bei b ein Rohr x nach der Bodenplatte herab in den horizontalen Canal f f, welcher die Oeffnungen E, D mit einander verbindet. Zwei um eine feste Axe bewegliche, zweiarmige Hebel h h werden von den Kolbenstangen durch Reibung gehoben und gesenkt. An dem einen Arme haben diese Hebel Spiralfedern k k, welche in einer Hülse m m endigen und durch diese mit den Stangen l l zusammenhängen. Mit der einen Kolbenstange senkt sich deshalb zugleich die damit verbundene Ventilstange, schließt das Ventil und damit auch den Canal g a. — Sobald nun das Pumpen beginnt, bewegt sich der Kolben C herab und D hinauf. Währenddem öffnet sich der Canal g a nach dem Stiefel A und der andere Canal g a schließt sich nach B hin. Die Luft aus dem Recipienten tritt dann nur in den Stiefel A durch g a, und zwar über diesen Kolben, sobald dieser so weit herab ist, daß der Canal g a frei wird. Außerdem geht aber Luft aus dem Recipienten durch g, die Röhre x, den Canal f und das Ventil D in den Stiefel B unter den

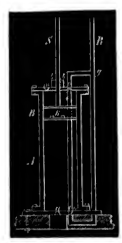


*) Beschreibung einer neuen und vollkommeneren Einrichtung der Luftpumpe. Flensburg und Leipzig 1791. Gren's Journal der Physik. Bd. III. S. 337.

**) Manuel of naturel and experimental philosophy. T. I. p. 109. Zeitschrift für Physik u. Math. Wien 1829. Th. VI. S. 89.

Kolben. In beiden Stiefeln vergrößert sich der diese Luft enthaltende Raum während der Bewegung der Kolben; daher wird diese Luft verdünnt. Die unter C befindliche Luft wird aber von diesem Kolben verdichtet, schließt deshalb das Ventil E, und entweicht durch b, q nach außen, so lange bis der Kolben den freien Boden erreicht hat. Die Luft über dem Kolben D wird von diesem gleichfalls fortgetrieben, und da das Ventil bei a durch die Stange geschlossen ist, so kann sie nicht nach dem Recipienten zurückkehren, sondern geht durch o, öffnet sich bei d das Blasenventil, und ergießt sich durch p nach q ins Freie. Derselbe Verlauf findet statt, wenn die Kolben im entgegengesetzten Sinne sich bewegen; es geschieht dann im Stiefel B dasselbe, was zuvor in A geschah, und umgekehrt. — Diese Pumpe verhält sich wie eine einfach wirkende, wenn nur die oberen Ventile thätig sind, und man kann dann den Hahn t am Rohre x ganz absperren, falls eins der unteren Ventile schadhaft geworden ist. Sollte aber eins der oberen Ventile unwirksam sein, so löst man die Hülsen m m aus, und es sind dann nur die unteren Ventile thätig. Mit dieser Pumpe, die schnell einen luftverdünnten Raum schafft, kann die Verdünnung so lange fortgesetzt werden, als die von dem Kolben zusammengepreßte Luft noch fähig ist, die Ventile b und d zu heben, demnach so lange als diese Luft noch etwas dichter wird, als die äußere atmosphärische.

Gervinus *) brachte einen Mechanismus mit einer Hahnluftpumpe in Verbindung, um mit einer solchen die beschriebene doppelte Wirkung zu erzielen. Eine Hahnluftpumpe, bei welcher der schädliche Raum vermieden und bei der eine bequeme Steuerung der Hähne angebracht ist, die auch mit jedem ihrer Stiefel doppelte Wirkung hervorbringt, hat Muncke **) beschrieben. Auch Mohr hat mehrere doppelt wirkende Luftpumpen vorgeschlagen, die sich durch eine gewisse Einfachheit empfehlen. Bei der einen ist der Stiefel AB (s. beistehende Figur) oben und unten flach abgeschliffen, so daß unmittelbar die flachen Endstücke, mit etwas Fett daran, durch Schrauben befestigt werden.



In beiden Endstücken befinden sich Kegelventile m und n, nach außen beweglich, von denen das obere m durch sein eigenes Gewicht, das untere n aber durch eine aufwärts wirkende Feder angedrückt wird. Der massive Kolben k ist an beiden Enden ganz flach, und bewegt sich mit einer genau cylindrischen Stange luftdicht durch die Stopfbüchse bb. An den Endstücken befinden sich außerdem die von innen nach außen sich verengenden conischen Oeffnungen o und p, worin die Enden des Stangenventils ef luftdicht einpassen. Die an o und p befestigten Leitungsröhren führen von g gemeinschaftlich zum Recipienten. Das Stangenventil ef bewegt sich mit harter Reibung luftdicht durch den Kolben k. Wenn nun zuerst der Kolben von oben nach unten bewegt wird, so zieht er die Stange ef anfangs mit; dadurch wird die Oeffnung o frei und die Luft strömt aus dem Recipienten in den Stiefel; so wie aber das untere Ende der Stange

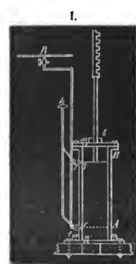
*) Voigt, Mag. Bd. IX. S. 517.

**) Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. VI. S. 556 ff. Marbach's phys. Lex. alte Ausg. Bd. III. S. 465.

el die conische Oeffnung bei p geschlossen hat, gleitet der Kolben an der Stange weg. Die unter dem Kolben enthaltene atmosphärische Luft ist durch das Ventil n entfernt worden. Beim Rückgange des Kolbens nach oben wird zuerst die Oeffnung bei p frei und die bei o geschlossen, und die bei der ersten Verdünnung in den Stiefel gebrachte Luft wird durch das Ventil m entfernt, während Luft aus R durch p unter den Kolben tritt, u. s. f.

Eine andere Vorrichtung von demselben ist folgende. A B (s. Fig. I.) ist der Stiefel, worin sich seitwärts bei q und r kleine Oeffnungen befinden, in Verbindung mit den einfach durchbohrten Hähnen s und t, welche gemeinschaftlich bei h gesteuert werden. Es befinde sich nun der Kolben oben, der Hahn s sei geöffnet, t aber geschlossen, so wird durch Hinabdrücken des Kolbens die Verdünnnng durch s erfolgen und die atmosphärische Luft durch n entweichen. Bei r wird ein kleiner schädlicher Raum abgeschlossen, welcher sich, wenn der Kolben an ihm vorbei ist, in den Stiefel und durch s auch in den Recipienten verbreiten wird. Nun werden die Hähne gedreht, so daß t offen und s verschlossen ist, und die bei der ersten Verdünnung in den Stiefel gelangte Luft wird durch m entleert. Der schädliche Raum bei q wird sich nun ebenfalls dem Stiefel und durch t auch dem Recipienten mittheilen. Es wird aber endlich ein Punkt der Verdünnung kommen, wo der Kolben an den Oeffnungen q und r vorbeigegangen sein wird, ehe die Luft im Stiefel die Dichte der atmosphärischen Luft erlangt hat, und von diesem Punkte an werden die schädlichen Räume bei q und r mit verdünnter Luft abgesperrt.

I.



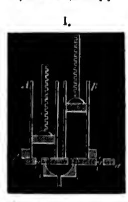
Noch einfacher ist folgende Luftpumpe von Mohr. Es befindet sich auf der Mitte der Höhe des Stiefels eine einzige Oeffnung i, welche durch den einfach durchbohrten Hahn p zu reguliren ist. Alles andere ist wie bei der so eben beschriebenen Maschine, und das Spiel folgendes. Der Hahn p ist während jeder Bewegung des Kolbens geschlossen. Wird der Kolben hinabgestoßen, so wird der ganze Stiefel luftleer, und durch eine kurze Oeffnung des Hahnes tritt die Luft aus dem Recipienten in den Stiefel. Der Hahn wird sogleich wieder geschlossen und der Kolben aufwärts bewegt, wobei er die Luft der ersten Verdünnung durch m austreibt. Es wird nun der Hahn wieder einen Augenblick geöffnet ꝛc. Durch eine Selbststeuerung kann es leicht dahin gebracht werden, daß der Hahn sich dann öffnet, wenn der Kolben eben vor der Oeffnung i ist, wodurch man sowohl des Oeffnens, als auch des Abwartens der gleichmäßigen Vertreibung überhoben ist.

II.

Fortin hat auch eine Luftpumpe mit einem Scheiben- oder Schieberventil

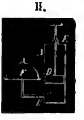
construirt *). A und B (s. Fig. I.) sind die Stiefel mit den massiven Kolben, an welchen sich gezahnte Stangen befinden. Die Stiefel stehen in der gemeinschaftlichen Bodenplatte pp. Unter der letzteren ist eine bewegliche Platte a a angebracht, in welcher bei v und v' zwei Kegelventile und ein Loch o befindlich sind. Dann ist unter dieser Platte noch ein Bodenstück s s befestigt, in welcher die Höhlung unter o durch den Canal r mit dem Recipienten in Verbindung steht. Wenn nun der Kolben in B aufsteigt, so geht die Luft aus dem Recipienten durch o in den Stiefel B, während die Luft in A von dem hier niedersteigenden Kolben durch v ausgetrieben wird. Sobald dieser Kolben unten angelangt ist, wird die Platte a a nach links geschoben, wodurch o unter den Stiefel A, v' unter B und v außerhalb des Stiefels A zu liegen kommt. Der Recipient steht also jetzt durch o mit A in Verbindung, so daß seine Luft beim Aufsteigen des Kolbens in A hier verdünnt, während der niedergehende Kolben in B die Luft durch v' ins Freie treibt. Nach Biot soll diese Luftpumpe sehr wirksam sein.

I.



Die einfachste Luftpumpe ist wohl die von Ritchie **), welche beistehende Fig. II. im Durchschnitte darstellt. F ist der auf dem Teller stehende Recipient, welcher durch eine rechtwinklig umgebogene Röhre B mit dem Stiefel A communicirt. Dieses Verbindungsrohr mündet in einer Höhe vom Boden des Stiefels, welche der Dicke des Kolbens gleich kommt. Die Kolbenstange bewegt sich in einer Stopfbüchse, neben welcher eine Oeffnung im Deckel des Stiefels angebracht ist. Wird nun der Kolben vom Boden aufwärts gezogen, so treibt er die Luft über ihm durch die Oeffnung E ins Freie, während sich unter ihm die Luft (aus dem Recipienten) ausdehnt. Sobald der Kolben oben angelangt ist, legt man den Finger auf die Oeffnung E, und treibt den Kolben wieder hinab. Es entsteht dann über ihm ein luftleerer Raum, in welchen sich die beim Herabgehen des Kolbens auf ihr voriges Volumen zusammengepreßte Luft des Recipienten ergießt, sobald der Kolben bis unter C herabgekommen ist. Nun zieht man den Kolben etwa um seine Dicke wieder in die Höhe, und zieht dann den Finger von E hinweg. Die über dem Kolben befindliche Luft wird hierauf von demselben durch die Oeffnung E ins Freie getrieben u. s. f.

II.



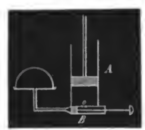
Eine gleichfalls sehr einfache, hierher gehörige Luftpumpe hat Buchanan ***) angegeben. Ein verticaler Stiefel A (s. umstehende Figur) ist mit einem verhältnißmäßig sehr kleinen horizontal liegenden Stiefel B verbunden, dergestalt, daß die inneren Räume beider Stiefel durch eine Oeffnung o mit einander communiciren können. Von dem kleineren Stiefel führt eine Röhre zum Recipienten. In beiden Stiefeln befinden sich massive Kolben, deren Stangen sich

*) Biot, Traité etc. T. I. p. 188.

**) Edinb. phil. Journ. New Ser. No. 1. p. 112.

***) Edinb. Journ. of science. No. XI. p. 133.

ohne Stopfbüchsen bewegen. Befindet sich nun der Kolben in A auf dem Boden, so wird, wenn man den Kolben in B hervorzieht, die Luft aus dem Recipienten durch die Oeffnung o in den Stiefel A sich ergießen, sobald der Kolben in diesem letzteren aufwärts bewegt wird. Schiebt man jetzt den Kolben B in den kleinen Stiefel wieder hinein, so ist der Recipient von diesem Stiefel abgesperrt, und die Luft in A wird durch den Niedergang des großen Kolbens durch die Oeffnung o ins Freie getrieben rc. Die Bewegung der verticalen Kolbenstange in A kann, wenn man will, in bekannter Weise durch Rad und Getriebe geschehen. Buchanan hat auch für die Bewegung der horizontalen Kolbenstange, die man sonst mit der Hand vollführen muß, einen besonderen Mechanismus, und nebenbei noch andere Modificationen vorgeschlagen, durch deren Ausführung aber diese Luftpumpe an Einfachheit sehr verlieren würde.



Man spricht auch von Luftpumpen ohne Stiefel und versteht darunter die sogenannten hydraulischen, bei welchen der leere Raum, in den sich die Luft des Recipienten ausbreiten soll, um dann ausgetrieben zu werden, nicht durch einen zurückgehenden Kolben, sondern durch eine tropfbare Flüssigkeit hergestellt werden soll, etwa in ähnlicher Weise wie der leere Raum im Barometer. Steht also mit dem Recipienten eine verticale Röhre mit irgend einer Flüssigkeit in Verbindung, so wird durch das Sinken dieser Flüssigkeit ein leerer Raum entstehen, in den sich die Luft des Recipienten theilweise ergießen kann. Der Hauptmangel aller hydraulischer Luftpumpen ist, daß die gewählten Flüssigkeiten weder selbst luftfrei sind, noch luftdicht an die Wandungen der Gefäße sich anschließen. Wasser giebt sehr leicht Dämpfe ab, und kann schon um dessentwillen nicht wohl gebraucht werden. Auskochen des Quecksilbers, wie bei der Füllung der Barometerröhren, ist eben so wenig anwendbar. Dazu kommt, daß diese Pumpen, welche viel weniger leisten als die anderen bisher beschriebenen, meist etwas langwierig zu gebrauchen sind. Die erste Quecksilber-Luftpumpe ist von E. Schwedenborg *) angegeben worden. Alsdann wurden solche Pumpen auch von Baader **), Hindenburg ***), Kemp ****), Patten *****), Uthe †), Edelkranz und Rommershausen ††) construirt. Aehnlichkeit mit der Quecksilberluftpumpe von Kemp hat die Oelluftpumpe von Sadler †††). Wir geben hier beispielsweise eine Beschreibung von Baader's hydraulischer Luftpumpe.

---

*) Miscellanea observata circa res naturales, et praeaertim circa mineralia, ignem et montium strata. Lips. 1722. Gren's Journ. Bd. IV. S. 407.

**) Hübner's phys. Taschenbuch. Salzb. 1784. S. 650. Lichtenb. Mag. Th. V. St. 2. S. 91.

***) Antliae novae hydraulico-pneumaticae mechanismus et descriptio. Lips. 1787. Lichtenb. Mag. Th. V. St. 2. S. 81.

****) Edinb. Journ. of nat. and geol. No. VIII. p. 95. Wiener Zeitschrift. Bd. VIII. S. 193.

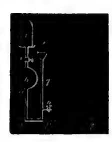
*****) Ann. of Phil. 1824. Oct. p. 255.

†) Dingler's polyt. Journ. Bd. XVII. S. 272.

††) Kastner's Archiv. Bd. XV. S. 1.

†††) Gilbert's Ann. Bd. I. S. 352.

r in beistehender Figur ist der Recipient, s ein Senguerd'scher Hahn und h ein Röhrchen mit einem gewöhnlichen Hahne. Wird nun, wenn h geschlossen ist, der Hahn s so gedreht, daß der Recipient abgeschlossen wird, die Kugel k aber mit der äußeren Luft communicirt, und wird in den Trichter t Quecksilber gegossen, so steigt es in beiden Röhren gleich hoch, während aus der Röhre m n durch s die Luft entweicht. Man füllt auf diese Weise das Quecksilber bis über die Kugel k ein. Dann dreht man den Hahn so, daß der Recipient mit der Kugel k communicirt, und öffnet den Hahn h. Das Quecksilber fließt nun durch h aus, indem es in der Röhre m n fällt. Die Luft ergießt sich jetzt aus dem Recipienten zum Theil in die Kugel und wird also verdünnt. Man sperrt durch die Drehung des Hahnes s den Recipienten r wieder ab, schließt auch den Hahn h, gießt von Neuem Quecksilber in den Trichter, und verfährt wie vorher. Baader gab später diesem Apparat eine Einrichtung, vermöge deren die Röhre p q abwechselnd in die verticale Lage p q und in die horizontale p' q' gebracht werden konnte, wodurch der Hahn h entbehrlich wurde.



Es giebt noch verschiedene andere Mittel und denselben entsprechende Vorrichtungen, um einen luftverdünnten Raum herzustellen. Diese Vorrichtungen können jedoch nur im uneigentlichen Sinne Luftpumpen genannt werden. So kann man, wie schon Papinus fand, die Luft durch Wasserdämpfe aus einem Gefäße so weit als thunlich austreiben und dann durch Abkühlung ein Vacuum erzeugen. Wilke *) construirte nach diesem Princip eine Maschine, die jedoch große Unbequemlichkeit darbietet, eben so Verretrai **). Man kann auch aus einem Gefäße, einer Metallkugel mit Röhre und Hahn die Luft durch Erhitzen theilweise austreiben, und dann auf einen Teller, der an der Röhre befestigt ist, einen Recipienten stellen. Die Luft wird sich dann aus letzterem zum Theil in jene Kugel ergießen, wenn man dieselbe hinreichend abkühlt. Eine bedeutende Luftverdünnung läßt sich indessen auf diese Weise, die Kastner in Vorschlag brachte, nicht erzielen. Fontana beobachtete, daß glühende Kohlen beim Erlöschen sehr viel Luft absorbiren. Hierauf gestützt machte Ingenhous den Vorschlag, man solle den Recipienten mit einem metallenen Gefäße, das mit glühenden Kohlen angefüllt sei, verbinden und auf dasselbe einen Deckel mit einem Rohre, Teller und Recipienten legen. Die Kohlen werden dann erlöschen, viel Luft absorbiren und demgemäß einen luftverdünnten Raum hervorbringen, wenn der Recipient durch einen Hahn mit dem Gefäß communicirt. Aber auch auf diese Weise läßt sich keine bedeutende Luftverdünnung bewirken, wohl aber nach Brunner dadurch, daß man die Luft durch Kohlensäure oder Ammoniak aus einem Gefäße möglichst austreibt, und dann die Kohlensäure durch Kalkhydrat oder das Ammoniak durch Kohlensäure absorbiren läßt ***).

Die zahlreichen gewöhnlichen Versuche, welche man mittelst der Luftpumpe anstellen kann, um die physikalischen Eigenschaften der Luft darzuthun, sind im

*) Abhandl. der königl. schwed. Acad. d. Wiss. 1769. Bd. XXXI. S. 314.
**) Journ. de phys. T. XXXVIII. p. 150. Gren's Journ. d. Phys. Bd. VI. S. 86.
***) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 523.

Art. Atmosphäre (Bd. I. S. 465 bis 476) beschrieben. Anderweitige Anwendungen finden sich in den betreffenden Artikeln angegeben.

Luftspiegelungen sind Bilder in der Luft von Gegenständen, welche häufig im Originale dem Beobachter nicht sichtbar sind. Obgleich dieselben schon in älteren Zeiten häufig beobachtet worden sind *), so wurden sie doch erst seit der französischen Expedition nach Egypten (1798) Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Diese Erscheinungen bestehen im Allgemeinen darin, daß man von entfernten Gegenständen einfache oder doppelte, entweder aufrechte, oder verkehrte, oder verschobene Bilder wahrnimmt. Man sieht sie vorzugsweise auf ausgedehnten Ebenen und auf der See. Von den Seeleuten wird die Erscheinung Kimmung, Erhebung oder Seegesicht genannt.

Der Boden von Nieder-Egypten ist eine außerordentlich große, wagrechte Ebene, auf welcher sich nur einige mit Dörfern besetzte Anhöhen befinden, welche durch diese Lage gegen die Ueberschwemmungen des Nils geschützt sind. Abends und Morgens erscheint die Landschaft so, wie es die wirkliche Lage, Größe und Entfernung der Gegenstände mit sich bringt. Am Tage aber, wo der Boden von der Sonne erhitzt wird, scheint das Land in einer gewissen Entfernung durch eine allgemeine Ueberschwemmung begrenzt zu werden. Die über diese Grenze hinausliegenden Dörfer erscheinen wie Inseln in einem großen See. Unter jedem Dorfe sieht man dessen umgekehrtes Bild, ganz so wie es erscheinen würde, wenn es wirklich am Wasser läge. Nähert man sich, so rücken die Grenzen dieser scheinbaren Ueberschwemmung weiter hinaus; der das Dorf umgebende eingebildete See zieht sich zurück, verschwindet endlich ganz und die Täuschung erneuert sich für ein anderes entfernteres Dorf.

Die Luftspiegelung ist auch in den Ebenen Persiens und Nubiens **) nicht selten; sie heißt bei den Persern Sirrab, während sie von den Arabern Serab genannt wird.

Woltmann ***) beobachtete ähnliche Erscheinungen zu Curhaven. Entfernte, nahe am Horizont gelegene Gegenstände schienen durch einen hellen Lichtstreif oder gewissermaßen durch einen glänzenden leeren Raum von der Erdoberfläche getrennt zu sein. Dieser Raum machte, falls das Auge hinreichend erhoben war, den Eindruck eines glänzenden Meeres über der Landschaft. Woltmann sah dann durch ein Fernrohr unter den entfernten Gegenständen ein umgekehrtes Bild. Je entfernter die Gegenstände waren, desto breiter erschien der helle Streif. Rückte der Gegenstand bei unverändertem Stande des Auges näher, so verschwand der Streif allmälig, während auch das Bild, und zwar zunächst an seinem unteren Theil, abnahm. Die Bilder zeigten auch, namentlich an hellen, warmen Tagen, wenn die Oberfläche der Körper erhitzt war, eine zitternde Bewegung.

Biot und Matthieu stellten Beobachtungen über Luftspiegelung bei Dünkirchen am Ufer des Meeres an, auf der sandigen Ebene, welche sich vom Fuße des Fort Risban ausdehnt. Biot zeigte, daß, wenn man von einem

---

*) Gilbert's Ann. Bd. LVIII. S. 19. Busch: Tractatus duo optici argumenti. Hamb. 1783. Gruber: physikalische Abhandlung über die Strahlenbrechung. Dresden 1787.

**) Mém. sur l'Egypte. Par. l'an. VIII. T. I. p. 64. Burkhardt: Reise in Nubien. S. 265. 524.

***) Gilbert's Ann. Bd. III. S. 397.

Punkte T (s. beistehende Figur) in einiger Entfernung von dem Beobachter ausgeht, man eine krumme Linie T B bemerken kann, von der Art, daß alle Punkte unterhalb derselben unsichtbar bleiben, während alle Punkte oberhalb derselben,



bis zu einer gewissen Höhe, zwei Bilder geben, das eine gewöhnlich und direct, das eine außergewöhnlich, unterhalb und verkehrt. Auf diese Weise bietet ein Mann, welcher vom Punkte T ausgehend sich vom Beobachter entfernt, dem letzteren nach und nach diejenigen Erscheinungen dar, welche die Figur angiebt *).

Genauere Untersuchungen über Luftspiegelung wurden auch von Brandes angestellt **). Derselbe bemerkte an schwülen gewitterhaften Tagen, und zwar meist gegen Abend, am oldenburgischen Ufer der Nordsee jenseits des Wassers entfernte, sonst nicht sichtbare Gegenstände, von denen manche ein umgekehrtes, auch wohl ein zweifaches Bild über sich hatten. Dagegen sah er an kühlen Sommertagen die Gegenstände am jenseitigen Ufer in ihrer natürlichen Gestalt, aber sie schienen oberhalb des Wasserhorizontes in der Luft zu schweben, und wenn man sie mit dem Fernrohre genauer betrachtete, so sah man, daß der Gegenstand zwar in seiner natürlichen Gestalt erschien, aber unterhalb sich wie gespiegelt zeigte, so daß ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes, seine untere Seite unmittelbar berührend, gesehen wurde. Die auf- oder untergehende Sonne bot bei dieser Beschaffenheit der Luft, indem sie übrr dem Wasserhorizonte hervorkam, ähnliche Erscheinungen dar.

Außerordentliche Erscheinungen wurden in England wahrgenommen. Von Hastings, an der Küste von Sussex, sind die Klippen an der französischen Küste funfzig englische Meilen entfernt, und werden von der Krümmung der Erde verborgen. Den 26. Juli 1798 gegen 5 Uhr Nachmittags sah Latham ***) zu Hastings eine große Menschenmenge nach dem Meeresufer eilen. Auf seine Erkundigung nach der Ursache hiervon wurde ihm geantwortet: man könne die französische Küste mit bloßen Augen sehen, und er begab sich sogleich dahin. Er sah deutlich die Klippen sich einige Meilen längs der französischen Küste ausdehnen, und sie erschienen so, als wenn sie nur wenige Meilen entfernt wären. Nach und nach schienen sie sich mehr und mehr zu heben und dem Auge näher zu treten. Diese Erscheinungen dauerten etwa eine Stunde, die Klippen schienen zuweilen glänzender und näher, zu anderen Zeiten schwächer erleuchtet und entfernter zu sein. Latham bestieg hierauf die östliche Klippe, wo sich seinem Auge ein unge-

*) Recherches sur les refractions extraordinaires, qui ont lieu près de l'horizon. Par. 1810. Mém. de l'Institut pour 1809. Gilbert's Ann. Bd. XLVII. S. 237. Biot: Traité de phys. T. III. p. 318.

**) Beobachtungen und theoretische Untersuchungen über die Strahlenbrechung. Oldenburg 1807.

***) Philos. Transact. for 1798. p. 357. Gilbert's Ann. Bd. IV. S. 142.

ein schöner Anblick darbot. Er sah zu gleicher Zeit Dungeneß, Dover Cliff und die ganze Länge der französischen Küste von Calais, Boulogne u. s. w. bis St. Vallery. Mit Hülfe eines Fernrohres sah man deutlich die französischen Fischerböte vor Anker liegen, auch unterschied man die verschiedenen Farben des Landes auf den Höhen so wie die Gebäude. Latham bemerkte ferner, daß die Landzunge Dungeneß, welche sich nahe zwei englische Meilen in die See erstreckt, und ungefähr sechszehn Meilen in gerader Linie von Hastings entfernt ist, ganz nahe erschien. Die Fischerböte, welche zwischen beiden Orten fuhren, schienen gleichfalls nahe und waren ungemein vergrößert.

Genaue Beobachtungen über Luftspiegelungen wurden ferner von Vince mitgetheilt. Die Spitzen der vier Thürme von Dover Castle werden gewöhnlich von Ramsgate aus über einem Hügel, der zwischen Ramsgate und Dover liegt, hervorragend erblickt. Am 6. August 1806 um sieben Uhr Abends, bei völlig stiller etwas dunstiger Luft, wurden nicht allein die Spitzen der vier Thürme von Dover Castle über dem anliegenden Hügel gesehen, sondern das ganze Gebäude erschien als diesseits des Hügels, nach Ramsgate zu liegend und eben so hoch als gewöhnlich über dem Hügel hervorragend. Zwischen den Beobachtern und dem Lande, von welchem ab der Hügel sich erhebt, liegen ungefähr sechs Meilen See, und von da bis zum Gipfel des Hügels ist es fast eben so weit. Die Höhe desselben über die Wasserfläche betrug ungefähr siebenzig Fuß. — Die Täuschung gewann ungemein durch den Umstand, daß der Hügel selbst nicht durch das Bild erschien, wie man wohl hätte erwarten sollen. Die Aufmerksamkeit der Beobachter war zwar vorzugsweise auf das Bild des Schlosses gerichtet, doch glaubte Vince, daß, wenn der hinter demselben liegende Hügel überhaupt sichtbar gewesen wäre, er unmöglich ihrer Beobachtung hätte entgehen können, da sie dieselbe eine geraume Zeit mit einem guten Fernrohre fortsetzten.

Andere genaue Beobachtungen hatte Vince *) schon früher angestellt. Im Jahre 1793 sah Huddart, während seines Aufenthaltes zu Allonby in Cumberland, das umgekehrte Bild eines Schiffes unter dem letzteren, wie dies die nebenstehende Figur zeigt. Vince, welcher in der Folge diese Erscheinung in einer großen Menge von Fällen beobachtete, fand, daß das Schiff, welches hier als das wirkliche betrachtet wurde, nur ein aufrechtes Bild des wirklichen Schiffes war, welches zu der Zeit sich ganz unter dem Horizonte befand und nicht gesehen werden konnte. Im August 1798 beobachtete Vince eine große Menge solcher Luftbilder von Schiffen, die sich dem Horizonte näherten. Zuweilen wurde nur ein umgekehrtes Bild über dem wirklichen Schiffe gesehen,



und dies war in der Regel der Fall, wenn das wirkliche Schiff völlig im Gesichte war. Allein wenn das Marssegel des wirklichen Schiffes sich über dem Horizont zu zeigen begann, wie A auf umstehender Figur zeigt, so erblickte man zwei Luftbilder desselben: ein umgekehrtes in B, das andere in seiner natürlichen Lage in C. In diesem Falle war die See zwischen dem aufrechten und verkehrten Bilde

*) Philos. Transact. for 1799. p. 13. Gilbert's Ann. Bd. IV. S. 129.

deutlich sichtbar, allein in anderen Fällen berührte der Schiffrumpf des einen Bildes unmittelbar den des anderen.

Aehnliche Erscheinungen beobachtete Scoresby, als er auf dem Schiffe Baffin das Eismeer in der Nähe von Westgrönland durchschiffte. Am 28. Juni 1820 sah er ungefähr achtzehn Segel von Schiffen in der Entfernung von zehn bis funfzehn Meilen. Die Sonne hatte den ganzen Tag über kräftig geschienen. Gegen sechs Uhr Abends erhob sich ein leichter Nordwest; ein dünner Stratus oder Nebelstreif, anfänglich stark von der Sonne erleuchtet, erschien in derselben Gegend und stieg nach und nach bis zur Höhe von etwa einem Viertheil Grad. Um diese Zeit fingen die in der Entfernung von zehn bis funfzehn Meilen segelnden Schiffe an, ihre Gestalt und Größe zu verändern. Mit dem Fernrohr von der Spitze des Mastes aus untersucht, boten einige die auffallendsten Erscheinungen dar, die sich fast mit jedem Strich des Compaß veränderten. Ein Schiff hatte ein vollkommenes Bild, so deutlich wie das Original, und war mit der Spitze des Mastes von letzterem in umgekehrter Lage verbunden. Mehrere Schiffe waren wunderlich verdreht, ihre Masten erschienen wenigstens zweimal höher als sie wirklich waren, und der Hauptmast hatte die Hälfte der ganzen Erhöhung. Andere Schiffe erschienen dagegen anstatt verlängert vielmehr zusammengedrückt. — An anderen Tagen desselben Monats bemerkte Scoresby ähnliche Erscheinungen. Die verkehrten Bilder entfernter Schiffe wurden oft in der Luft gesehen, während die Schiffe selbst weit außer dem Bereiche des Sehens waren. Einige Schiffe erschienen um das Doppelte vergrößert, andere hingegen fast zu einer Linie zusammengeschrumpft. — Ein Phänomen, phantasmagorischer Art, sah Scoresby am 18. Juli, als er die Küste Grönlands durch ein Fernrohr untersuchte. Ein zitternder durchsichtiger Dunst war besonders bemerklich und häufig, während der Himmel sonst klar war. Um neun Uhr Morgens, wo das Phänomen zuerst gesehen wurde, stand das Thermometer auf 42° F.; allein des Abends vorher muß sein Stand weit niedriger gewesen sein, indem die See an mehreren Stellen mit einem beträchtlich dicken Häutchen von neuem Eise bedeckt war, — ein während der wärmsten Jahreszeit nicht gewöhnlicher Umstand. Der Anblick, welcher durch das Fernrohr von der Küste erhalten wurde, stellte nach Scoresby die Ansicht einer alten Stadt von bedeutendem Umfange, mit Ruinen von Palästen, Obelisken, Kirchen und anderen großen Gebäuden dar, nebst großen Felsmassen, welche scheinbar in der Luft schwebten ꝛc.



Während seiner Reise in Südamerika hatte auch Humboldt Gelegenheit, Luftspiegelungen zu beobachten. In Cumana sah er häufig die Inseln Picuita und Boracha in der Luft schweben; zuweilen war das Bild verkehrt. Das eine Mal sah er kleine Fischerkähne länger als drei bis vier Minuten in der Luft über dem wohlbegrenzten Horizonte der See schwimmen. Wurden sie durch ein Fernrohr beobachtet, so bemerkte er bei dem einen Boote ein verkehrtes Bild, welches dasselbe bei allen Bewegungen begleitete. Aehnliche Erscheinungen wurden von demselben in den öden Steppen von Carracas und an den Ufern des Orinoco,

wo der Fluß von Sandebenen umgeben ist, bemerkt. Kleine Hügel und Hügelketten erschienen schwebend in der Luft, wenn sie von den Steppen aus in einer Entfernung von drei bis vier Meilen gesehen wurden. Einzeln stehende Palmbäume in den Ebenen (Llanos) erschienen am Boden abgeschnitten, als wenn eine Luftschicht sie vom Boden trennte, und von Vegetation entblößte Gegenden schienen, wie in der afrikanischen Wüste, Ströme oder Seen zu sein. In der Mesa de Pavona sahen Humboldt und Bonpland in einer Entfernung von 6000 Fuß Kühe in der Luft schweben, deren Füße 3′ 20″ über dem Boden erhoben waren. In diesem Falle waren die Bilder aufrecht, allein die Reisenden erfuhren aus sicherer Quelle, daß man in der Gegend von Calabozo verkehrte Bilder von Pferden in der Luft schwebend gesehen habe *).

Zu den Luftspiegelungen gehören auch die unter dem Namen Fata Morgana (Schlösser der Fee Morgana) bekannten Erscheinungen, die man häufig an der Meerenge von Messina, zwischen Sicilien und der italienischen Küste wahrgenommen hat. Doch scheint man dieselben so, wie sie in älteren Beschreibungen dargestellt werden **), in den neuesten Zeiten nicht beobachtet zu haben.

Wir haben nun noch einen, wie es scheint, viel seltner vorkommenden Fall hervorzuheben, der von Jurine und Soret am 17. September 1818 constatirt wurde. Hier befand sich nämlich das Bild auf der einen Seite des wirklichen Objects, während die oben beschriebenen Bilder unter oder häufig über den wirklichen Gegenständen gesehen wurden. Gegen 10 Uhr Morgens sahen die Genannten auf dem Genfer See eine Barke von dem linken Ufer des Sees sich Genf nähern; zu gleicher Zeit bemerkte man ein Bild der Segel über dem Wasser, welches, statt der Richtung der Barke zu folgen, sich von dieser trennte, und sich von dem rechten Ufer her Genf zu nähern schien. Als sich das Bild zuerst von der Barke trennte, hatten beide eine gleiche Größe, das Bild wurde jedoch kleiner, so wie es sich davon entfernte, und hatte bis auf die Hälfte abgenommen, als es verschwand.

Erklärungen der Luftspiegelung wurden früher von Gruber und Woltmann ***), von Kries ****) und dann wohl am umfassendsten von Biot (an den S. 737 citirten Orten) gegeben. — Die Ursache der oben beschriebenen Erscheinungen liegt vorzugsweise in der Ablenkung gewisser Strahlensysteme, welche von den Gegenständen aus ungleich erwärmte Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit durchdringen. Durch die Linien in umstehender Figur seien Luftschichten von ungleicher Dichte angedeutet, so daß die letztere von unten nach oben allmälig zunimmt. Dieser Fall kann wirklich vorkommen, wenn der Boden bei ruhiger Luft von der Sonne stark erwärmt wird. Das Auge o sieht dann einmal ein directes Bild des erhabenen Gegenstandes m n, welches erzeugt ist durch Lichtstrahlen, die so ziemlich in gerader Richtung von den Punkten des Gegenstandes nach dem Auge

---

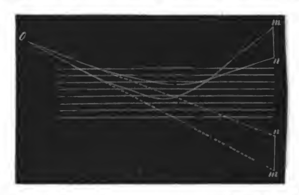
*) Essay sur les refractions astronomiques dans la zone torride. Lu à la 1. classe de l'Institut. Fév. 29. 1808. Par.

**) Kircher: Ars magna lucis et umbrae. P. II. c. 1. Ant. Minasi: Dissertazione sopra un fenomano volgarmente detto Fata Morgana cet. A sua Eminenza il Sign. Cardinale di Zelada. In Roma 1773.

***) Gilbert's Ann. Bd. III. S. 388. 400.

****) Gilbert's Ann. Bd. LIII. S. 365.

gelangen. Außerdem wird es aber noch ein verkehrtes Bild des Gegenstandes unterhalb des letzteren wahrnehmen, da von jedem Punkte des Gegenstandes auch solche Strahlen ausgehen, welche in die dünneren Luftschichten eindringen und hier be-



ständig von dem Einfallsloth hinweggebrochen werden. Diese Strahlen gelangen aber bald zu einer Grenze, von welcher aus sie in noch dünnere Luftschichten nicht mehr übergehen können. Hier erfahren sie eine Reflexion und beschreiben dann auf der anderen Seite eine der vorigen entsprechende Bahn. Das Auge sieht nun die Bilder der verschiedenen Punkte des Gegenstandes in denjenigen Richtungen, in welchen die betreffenden Strahlen schließlich das Auge treffen. Man erkennt, daß das Auge ein verkehrtes Bild des Gegenstandes in der angedeuteten Richtung wahrnehmen muß. Lichtstrahlen, welche von dem hinter den Objecten liegenden Himmel ausgehen, werden in den erwähnten Luftschichten ebenfalls die beschriebene Ablenkung erleiden und das Bild des Wassers hervorbringen, in welchem die verkehrten Bilder der Objecte sich spiegeln. Diese Erklärung gab Monge für die Bilder, welche in den Ebenen Egyptens zur Zeit der französischen Expedition wahrgenommen wurden. Dieselben Erscheinungen lassen sich nach Wollaston auch künstlich hervorbringen, wenn man in einen etwas länglichen Kasten von Eisenblech glühende Kohlen füllt. Strahlen, welche von einem entfernten erhabenen Gegenstande in die erhitzten Luftschichten über den Kohlen dringen, werden auf die angegebene Weise abgelenkt und erzeugen ein verkehrtes Bild des Gegenstandes.

Auf der anderen Seite ist es aber auch möglich, daß die Luft von der Erdoberfläche an bis auf eine gewisse Höhe aufwärts allmälig in einem bestimmten Maße an Dichte abnimmt. Ist z. B. die Oberfläche der See bei sonst hellem Wetter viel kälter als die atmosphärische Luft, so wird die zunächst der See befindliche Luft nach und nach immer kälter werden, indem sie ihre Wärme an das Wasser abgiebt, und die unmittelbar darüber liegende Luftschicht wird ihre Wärme der kühleren, zunächst unter ihr liegenden mittheilen, so daß die Luft von der Oberfläche der See an aufwärts mehr als gewöhnlich an Dichte abnehmen muß. Es sei nun S P auf umstehender Figur ein Schiff, welches durch die Krümmung der Erde P Q E dem Beobachter in E verborgen wird. Ein von dem Kiel P des Schiffes ausgehender Lichtstrahl erhält die Biegung nach der krummen Linie

P c x c E, indem derselbe bei seinem Uebergange in dünnere Luftschichten fortwährend vom Einfallsloth hinweggebrochen wird, bis er bei einer gewissen Größe des Einfallswinkels nicht weiter in die dünnere Luft eindringt, sondern reflectirt



wird, so daß er nun von hier an bei seinem Eindringen in dichtere Luftschichten vermöge der Brechung wieder eine krumme Bahn beschreiben muß. Ein von der Spitze des Mastes S kommender Lichtstrahl beschreibt auf ganz ähnliche Weise die krumme Linie S d x d E. Beide Strahlen kreuzen sich in x und gelangen in das Auge bei E so, daß der vom Kiel herkommende Strahl der oberste ist. Das Bild muß demnach in der verkehrten Lage s p erscheinen. Wäre der Stand des Auges dem Schiffe näher, wie in x, ehe die Strahlen sich kreuzen, so würde ein aufrechtes Bild des Schiffes, etwas über das wirkliche Schiff erhaben, gesehen werden. Strahlen S m und P d, die höhere Punkte der Atmosphäre treffen, können die Bahnen S m m E und P d n E beschreiben, ohne daß sie sich jedoch vor dem Auge kreuzen. Dieselben geben hiernach dem Auge bei E das aufrechte Bild s' p' des Schiffes. Bei der vorausgesetzten Beschaffenheit der Luft können also, unter sonst günstigen Umständen, zwei Bilder, ein verkehrtes und ein aufrechtes, über dem Gegenstande entstehen.

Wollaston *) hat auch diesen Fall durch Versuche erläutert. In eine Glaswanne gieße man klaren Syrup oder statt dessen Schwefelsäure bis zu einer gewissen Höhe und fülle den noch übrigen Raum mit Wasser aus. Von einem Gegenstande, der auf der einen Seite des Glasgefäßes zweckmäßig aufgestellt ist, gewahrt man dann ein verkehrtes und aufrechtes Bild, wenn das Auge etwa über die Grenzfläche der beiden ungleich dichten Flüssigkeiten hinwegsieht. Der Syrup oder die Schwefelsäure verbindet sich nämlich nach und nach mit dem Wasser und bildet so eine stufenweise sich verändernde Dichte, die von der des Syrups oder der Schwefelsäure bis zu der des reinen Wassers abnimmt. Dieselben Erscheinungen werden hervorgebracht, wenn man in das Glasgefäß Wasser und darüber Alkohol gießt.

Die Erscheinung von Dover Castle (S. 738), welche man auf der nach Ramsgate zu liegenden Seite des Hügels erblickte, wurde durch die am Boden

*) Phil. Transact. 1800. p. 239.

und über der See dichtere Luft als in größeren Höhen erzeugt. Eine Folge hiervon war, daß die von dem Gebäude ausgehenden Strahlen das Auge in krummen Linien erreichten. Die Ursache, daß dasselbe seine natürliche Lage auf dem Hügel beibehielt und nicht in der Luft gesehen wurde, lag darin, daß der Gipfel des Hügels selbst, weil er dem Gebäude so nahe war, dieselbe Veränderung von der abwechselnden Dichte der Luft erfuhr; mithin waren das Castel und der Hügel gleich erhaben und behielten ihre relative Lage. Daß aber die Bilder des Castels und des Hügels aufrecht erschienen, kam daher, daß die Strahlen von der Spitze und dem Fuße des Castels sich, als sie Ramsgate erreichten, noch nicht gekreuzt hatten. Ein von dem Gebäude weiter entferntes und in dem Wege der Strahlen liegendes Auge würde vielleicht das Bild verkehrt gesehen haben.

Das Bild der Genfer Barke (S. 740), welches man in einer gewissen Entfernung von der wirklichen segeln sah, entstand durch dieselbe Ursache wie die Luftbilder der Schiffe, nur mit dem Unterschiede, daß in diesem Falle die ungleich dichten Luftschichten senkrecht auf dem Wasser standen, und nicht, wie bei den früher angeführten Erscheinungen, horizontal und parallel mit dem Wasser waren. Nimmt man denselben Zustand der Luft, der Figur S. 742 in einer verticalen Richtung stattfindet, als in einer horizontalen Richtung vorhanden an, so werden dieselben Bilder in horizontaler Linie entstehen. In dem Falle mit der Genfer Barke wurde das Bild s′p′ sichtbar. Der Zustand der Luft, welcher hier das seitwärts liegende Bild erzeugte, kam wahrscheinlich daher, daß des Morgens die Luft über dem östlichen Ufer des Sees noch im Schatten lag, während dieselbe weiter gegen Westen hin schon von der Sonne erwärmt wurde. Derselbe kann aber auch wohl durch vorspringendes Land, eine Insel, und vielleicht selbst durch nahe an der Oberfläche befindliche und mit Wasser bedeckte Felsen bewirkt werden. Werden die angeführten Gegenstände von der Sonne stark erwärmt, so theilen sie der nahe über ihnen befindlichen Luft Wärme mit, während die benachbarte über dem Wasser liegende kühlere Luft ihre vorige Dichte größtentheils beibehält.

Einige andere optische Erscheinungen, die man unter den Luftspiegelungen anzuführen pflegt, haben andere Ursachen als die oben beschriebenen. Es gehört hierher das sogenannte Brockengespenst. Von den Besteigern des Brockens sind nämlich oft in größerer oder geringerer Entfernung Gestalten wahrgenommen worden, welche die Bilder ihrer eigenen Personen oder auch anderer im Original nicht sichtbarer Besteiger des Berges waren. Dieselben sind nichts anderes als die meist kolossalen Schattenbilder der Beobachter, welche sich auf Dünsten darstellen. Sie werden in der Regel, wie es die Bildung des Schattens mit sich bringt, gesehen, wenn die Sonne im Horizont steht, also namentlich beim Auf- und Untergange der Sonne. (Vergl. Art. Hof. Bd. III. S. 867.)

Silberschlag *) sah einmal im Herbst während des Sonnenunterganges den Schattenriß des Brockens selbst in enormer Größe nach Osten hin, in der Gegend von Halberstadt, im Nebel schweben. Aehnliche Erscheinungen hat man auch oft in Berlin von den Thürmen des Gensdarmenmarktes und in Stettin vom Jacobithurme aus wahrgenommen.

Diese Thürme werfen nämlich ihren Schatten auf den Nebel, wenn der

*) Geogenie. Th. I. S. 136.

letztere bei niedrigem Stande der Sonne fällt und die Thürme aus demselben hervorragen. Eine hiermit verwandte Erscheinung, die jedoch mehr auf einer wirklichen Spiegelung der Lichtstrahlen von Seiten verdichteter Wasserdünste zu beruhen scheint, hat Buchan beschrieben *). Dieser ging am Morgen des 28. Novembers 1804 östlich von Brighton spazieren, um den Aufgang der Sonne zu beobachten. Als er seine Augen gerade der See zuwandte, eben als die Sonnenscheibe über die Oberfläche des Wassers emporstieg, sah er den Vordertheil der Klippe, auf welcher er stand, sich genau gegenüber in einiger Entfernung auf der See dargestellt. Auch bemerkten er und sein Gefährte ihre Gestalten auf dem Gipfel der im Bilde dargestellten, ihnen entgegenstehenden Klippe, so wie das Bild einer Windmühle, die sich in der Nähe befand. Die Bilder waren an den Stellen, die denen, worauf die Beobachter standen, genau entgegengesetzt waren, am deutlichsten, und das Bild der Klippe schien zu verblassen und sich in dem Verhältnisse der wirklichen mehr zu nähern, als es nach Westen zu wich. Diese Erscheinung dauerte etwa zehn Minuten, oder bis die Sonne sich um die Länge ihres Durchmessers über die Oberfläche des Meeres erhoben hatte. Das Ganze schien sich jetzt in der Luft zu erheben und verschwand nach und nach. Der Eindruck, welcher dadurch hervorgebracht wurde, war dem ähnlich, wenn im Schauspiele eine Regendecoration in die Höhe gezogen wird. Der Horizont, sagt Buchan, war wolkig, oder es war vielmehr die Oberfläche der See von einem dicken, mehrere Ellen hohen Nebel bedeckt, welcher nach und nach vor den Strahlen der Sonne verschwand.

Eine interessante Luftspiegelung, die wir schließlich noch erwähnen wollen, beobachtete Georges Elliot in Virginien bei Gelegenheit seiner 101. Luftauffahrt **). In einer Höhe von 3000′ angelangt, warf er 5 Pfund Ballast aus, worauf er mit einer außerordentlichen Schnelligkeit stieg. Bald war er in Dampf gehüllt und empfand den Eindruck, als stecke er in einer mit Schmirgel bestrichenen glanzlosen Glaskugel von 300′ Umfang. Wie groß war aber sein Erstaunen, als er unter sich einen zweiten Ballon sah, dessen Aëronaut ihm wie sein Schatten folgte und alle seine Bewegungen nachahmte! Neuen Ballast auswerfend, sah er den Ballast seines Doppelfahrers steigen und diesen selbst hinabschießen. Einmal aus der Dampfhülle heraus, sah Elliot nichts mehr, empfand aber eine unerträgliche Hitze. Die Klappen des Ballons öffnend, befand er sich bald wieder in der Dampfregion und erblickte wieder seinen Doppelfahrer, der diesmal zu steigen schien, so wie sich Elliot abwärts bewegte.

Luftthermometer, s. Thermometer.

Luftwage, s. Barometer.

Luftgas, s. Stickstoff.

---

*) Nicholson's Journal. T. XIV. S. 340.

**) Nationalzeitung, Beilage zu Nr. 461. Dienstag d. 3. October 1854. Morgenausgabe.

Magdeburgische Halbkugeln, s. Atmosphäre Bd. I. S. 473.

Magie, natürliche, s. Zauberkunst, natürliche.

Magnesia, s. Magnium.

Magnetismus. Dieser Ausdruck bezeichnet eine gewisse Klasse von Naturerscheinungen oder wohl auch schlechthin die Ursache derselben. Es war schon im Alterthume von gewissen Eisenerzen bekannt *), daß sie aus geringen Entfernungen Eisentheile anziehen können. Man nannte ein solches Erz, wie erzählt wird, einen μάγνης von Magnesia, einer Gegend in Lydien, wo sich diese Erze vorfanden. Der Magneteisenstein, welcher von Natur magnetisch ist, besteht aus Eisenoxydul und Eisenoxyd. Aber auch ein Stück Eisen, das eine gewisse Zeit den atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt bleibt, oder welches längere Zeit in der Erde gelegen hat, erhält allmälig das Vermögen anderes Eisen anzuziehen.

Es giebt nun Magnete, welche bei einem verhältnißmäßig geringen Volumen doch im Stande sind, schwere Eisenmassen frei zu heben und zu tragen. Um die Mächtigkeit eines Magnets zu prüfen, pflegt man ihm gewöhnlich Eisenstücke von größerem oder geringerem Gewichte zu nähern. Es gehört immer eine mehr oder weniger bedeutende Kraft dazu, um das am Magneten hängende Eisenstück wieder abzureißen; und diese Kraft wird gewiß um so größer sein müssen, je beträchtlicher die Anziehung zwischen dem Magneten und dem Eisen ist. Diese Anziehung ist aber natürlich gegenseitig; der festgehaltene Magnet zieht das frei bewegliche Eisenstück an, und umgekehrt zieht eine feststehende Eisenmasse mit derselben Kraft und nach demselben Gesetze den in ihre Nähe gebrachten Magneten an. Dagegen zeigt der Magnet nicht an allen Punkten seiner Oberfläche eine gleich starke Anziehung. Wenn man eine Stange magnetisirten Eisens in Eisenfeile wälzt und nachher herausnimmt, so sieht man, daß sich die Theilchen der Eisenfeile an die Oberfläche der Stange hängen, aber nicht an allen Theilen auf gleiche Weise, sondern vorzugsweise in einiger Entfernung von den Enden (s. beistehende Figur). An den letzteren bemerkt man sehr lange gleichsam Fasern oder Haare, welche senkrecht gegen die Oberfläche gerichtet sind. Weiter ab von diesen Punkten werden diese Fasern kürzer und neigen sich gegen die Mitte hin, woselbst sich gar keine Eisentheilchen ansetzen.



Die Wirkung, welche alle Theile einer magnetischen Eisen- oder Stahlstange auf Eisentheile ausüben, kann man auch wahrnehmen, wenn man die Stange unter ein Blatt Papier legt und auf dieses Eisenfeile streut. Sobald man das Papier leicht erschüttert, vertheilt sich die Feile in der Form krummer Linien, die theilweise von der einen Hälfte des Magnets zur anderen sich erstrecken. Immer erkennt man zwei Stellen, nach denen sich die Eisenfeile am stärksten hinzieht, und diese liegen gegen die Enden der Stange. Diese Stellen, wo die magnetische Anziehung am stärksten hervortritt, hat man Pole genannt.

Die Einwirkung des Magnets auf Eisen findet auch dann noch statt, wenn man zwischen ihn und das letztere Körper wie Holz, Papier, Glas rc. bringt.

*) Lucretius de rerum nat. L. VI. v. 908, 910—916; 1040—1060. Plinius hist. nat. L. XXXVI. c. 16.

Auch wird eine leicht bewegliche Eisennadel im Recipienten der Luftpumpe nach möglichster Luftverdünnung noch von einem Magneten außerhalb des Recipienten angezogen.

Wenn man eine magnetisirte Stahlnadel an einem Faden so aufhängt, daß sie frei beweglich in einer horizontalen Ebene schwebt, so nimmt sie alsbald eine solche Stellung an, daß das eine Ende derselben nach Norden, das andere folglich nach Süden zeigt. Da sich nun nach den Enden der Nadel hin ihre Pole befinden, so nennt man gewöhnlich den einen dieser Pole, den, welcher nach Norden gerichtet ist, den Nordpol und den anderen den Südpol der Nadel. Wie die Nadel, so stellt sich überhaupt jeder frei bewegliche Magnet in eine solche Richtung, daß im Allgemeinen einer seiner Pole nach Norden, der andere gegen Süden gekehrt ist. Und so hat jeder Magnet einen Nordpol und einen Südpol. Jenen nennt man wohl auch den positiven, diesen den negativen Pol. Die Nordpole verschiedener Magnete heißen aber gleichnamige Pole und eben so die Südpole im Verhältniß gegen einander, dagegen heißt ein Nordpol gegen einen Südpol, und ein Südpol in Rücksicht auf den Nordpol ungleichnamig. Nähert man den Nordpol eines Magnets dem Südpol einer frei an einem Faden aufgehängten Magnetnadel, so zieht jener diesen an, und eben so zieht der Südpol des Magnets den Nordpol der Magnetnadel an. Die ungleichnamigen Pole also ziehen sich an, und heißen deshalb wohl auch hie und da freundschaftliche Pole. Nähert man dagegen den Nordpol eines Magnets dem Nordpol einer Magnetnadel, so stößt er denselben ab, und eben so stößt der Südpol des einen Magnets den des anderen ab. Gleichnamige Pole stoßen sich ab, und werden deshalb wohl auch feindliche Pole genannt. Jeder Magnet zeigt hiernach einen gewissen Gegensatz in seiner Wirkungsweise, und es liegt darin gerade sein Charakteristisches. Doch ist dieser Gegensatz nicht auf die beiden Punkte, welche man Pole nennt, beschränkt, sondern der ganze Magnet zerfällt in zwei Theile, von denen der eine nord-, der andere südpolarisch sich verhält. Beide Theile sind durch eine neutrale Zone oder durch eine sogenannte Indifferenzlinie, die bei einem gleichmäßig magnetisirten Stabe durch die Mitte desselben geht, begrenzt.

Man bringe eine unmagnetisirte Stange aus weichem Eisen, etwa in verticaler Stellung mit einem ihrer Enden nahe an den einen Pol einer horizontalen magnetisirten Stahlstange, und biete dem freien Ende der Eisenstange Eisenfeile dar. Diese legt sich hier sogleich an, und bleibt so lange hängen als der magnetische Einfluß dauert; so wie man aber den Magnetstab von der Eisenstange entfernt, fällt die Eisenfeile ab. Statt der Eisenfeile lassen sich zu diesen Versuchen auch kleine Stangen aus weichem Eisen, etwa Stückchen weichen Eisendrahtes, gebrauchen. Unter dem magnetischen Einflusse hängen sich diese eines an das andere, so daß man aus ihnen eine Art von Kette bilden kann. Zieht man den Magnet hinweg, so fallen die kleinen Eisencylinder sogleich von einander ab. Das Eisen wird nämlich durch die Einwirkung eines Magnets ebenfalls magnetisch, es erhält einen Nord- und einen Südpol, und zwar so, daß z. B. der dem Nordpol des Magnets zugekehrte Theil eines Eisenstabes einen Südpol, und der abgewendete Theil einen Nordpol bekommt. Ueberhaupt gilt die Regel: daß jeder Pol eines Magnets in dem ihm zunächst zugekehrten Theile des Eisens den entgegengesetzten oder ungleichnamigen Pol hervorruft, womit dann das Auftreten des gleichnamigen Pols auf der anderen Seite verbunden ist. Man nennt dies

das Gesetz der magnetischen Vertheilung. Der Magnet verliert aber durch diese Erregung des Magnetismus durch Vertheilung nichts an magnetischer Kraft, wie groß auch die Anzahl der Eisenstangen sein mag, welche er magnetisirt. Schon hieraus folgt, daß das weiche Eisen, welches in seinen natürlichen Zustand zurücktritt, sobald es außerhalb des magnetischen Einflusses sich befindet, in sich selbst die Fähigkeit haben muß, die magnetische Polarität anzunehmen. — Das oben beschriebene Anhängen der Eisentheile an einen Magneten und die weiterhin erwähnte Anordnung der Theilchen der Eisenfeile zu gewissen regelmäßigen Curven (auf einem Blatte Papier) ist die Folge davon, daß die Eisentheilchen selbst durch die Einwirkung des Magnets magnetisch werden, und sich dann dergestalt an einander hängen, daß ihre ungleichnamigen Pole einander zugekehrt sind. — Wenn man mit dem etwas abgerundeten Pol eines Magnets über eine reine Stahlplatte hinfährt, so werden die dadurch gebildeten Figuren durch Aufstreuen von Eisenfeile sichtbar, welche an den vom Magnetpol berührten Stellen hängen bleibt.

Während ein Stab weichen Eisens nach Aufhebung des magnetischen Einflusses wieder in seinen natürlichen, unmagnetischen Zustand zurückgeht, ist dies nicht der Fall bei einer Stange durch Hämmern gehärteten Eisens oder gehärteten Stahles. Bei einer solchen äußert sich der magnetisirende Einfluß langsamer, aber nachdem er einmal entschieden hervorgetreten ist, behält dieselbe die magnetische Eigenschaft lange Zeit, sogar noch dann, wenn sie nicht mehr unter dem Einflusse des Magnets steht. Im gehärteten Eisen und Stahl muß irgend eine Ursache vorhanden sein, welche die Entwickelung des Magnetismus erschwert, aber den einmal gebildeten magnetischen Gegensatz auch in der Wiederausgleichung, wie sie beim weichen Eisen stattfindet, hindert. Diese Ursache, welche Coërcitivkraft genannt wird, wächst mit dem Härtegrade des Stahles.

Die Magnetisirung einer Eisen- oder Stahlstange wird begünstigt, wenn sie, während sie unter der Einwirkung eines Magnets steht, geschlagen oder gerieben wird, oder wenn überhaupt die Massentheilchen derselben durch einen mechanischen Einfluß aus ihrer gewöhnlichen Gleichgewichtslage gebracht werden. So wird ein Eisenstäbchen, welches zwischen den entgegengesetzten Polen zweier Magnete liegt und noch keine Spur von Magnetismus zeigt, sofort polarisch, wenn man es der Länge nach mit einem harten Körper reibt *). Wenn man ferner eine Eisenstange vertical hält, und mit einem Hammer auf das eine Ende derselben schlägt, so erhält sie magnetische Polarität, und wendet man hierauf die Stange um und schlägt gegen ihr anderes Ende, so wird ihre Polarität umgekehrt, d. h. das früher südpolarische Ende wird nordpolar, das nordpolarische südpolar. Hier ist es der Magnetismus der Erde (s. d. Art.), welcher den magnetisirenden Einfluß ausübt, und dessen Wirkung auf die Eisenstange durch die mechanische Erschütterung der letzteren begünstigt wird. Eben daher kommt es, daß eiserne Handwerksgeräthe durch den Gebrauch nach kurzer Zeit meist magnetisch werden. Umgekehrt kann aber auch der in einer Eisen- oder Stahlstange schon vorhandene Magnetismus durch eine mechanische Erschütterung derselben geschwächt werden.

Durch das Gesetz der magnetischen Vertheilung erklären sich leicht folgende

*) Haldat: Ann. de Chim. T. XLII. p. 42.

Erscheinungen. Hängt man an den einen Pol eines Magnets ein so großes Stück Eisen, als er eben tragen kann, so fällt dieses ab, sobald man den ungleichnamigen Pol eines anderen Magnets von oben oder von der Seite her nähert. Ist nämlich der tragende Pol ein Nordpol, so erregt er in dem oberen Theile des eisernen Gewichtes Südpolarität, im unteren Nordpolarität. Falls nun der angenäherte Pol ein Südpol ist, so stößt derselbe den oberen südpolarischen Theil des Eisens zurück, während er zugleich mit dem tragenden Pol in ein Verhältniß der Anziehung tritt. Nähert man hingegen den ungleichnamigen Pol des zweiten Magnets dem anhängenden Eisen von unten her, so wird dieses mit größerer Kraft als vorher festgehalten, weil es jetzt in Folge der Einwirkung des genäherten Pols einen stärkeren Magnetismus (durch Vertheilung) erhält. Wenn aber der zweite Magnet viel stärker als der erste ist, so fällt es auch in diesem Falle von dem letzteren ab.

Das Eisen, welches sich in der Umgebung eines Magnets befindet, wird meist von beiden Polen des letzteren zugleich afficirt werden, so daß in jedem Punkte des Eisens, je nach dessen Entfernung und Lage gegen die Pole, eine magnetische Wirksamkeit auftritt, die durch die Differenz der Wirkungen beider Pole bedingt ist.

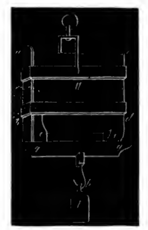
Es ist bereits hervorgehoben worden, daß der polare Gegensatz eines Magnets sich nicht blos auf die sogenannten Pole desselben erstreckt. Wenn man einen Stahlmagneten, der sich leicht brechen läßt, wirklich theilt, so zeigt jedes Stück, wie weit man auch die Theilung fortsetzen mag, wieder zwei entgegengesetzte Pole. Man muß hieraus schließen, daß auch den kleinsten Massentheilchen des Magnets der polare Gegensatz eigen ist. Dasselbe verräth sich auch bei der magnetischen Vertheilung. Ist ein weicher Eisendraht mit einem Magnetpole in Berührung, so hat er zwei Pole. Schneidet man nun von diesem Drahte so viele Stücke ab, als man will, so wird das am Pole hängenbleibende Stück immer wieder zwei Pole zeigen. Jeder Magnet hat wenigstens zwei Pole. Es kann aber auch eine größere Anzahl von Polen bei einem und demselben Magnetstabe vorkommen, wie dies namentlich bei längeren Stangen nicht selten der Fall ist. Ein solcher Stab erscheint dann als zusammengesetzt aus mehreren kleineren Magnetstäben. Diese polarischen Punkte werden nun gewöhnlich Folgepunkte genannt. Um dieselben zu entdecken, nähert man nach und nach alle Punkte der vertical gehaltenen Stange einem und demselben Pole einer beweglich aufgehängten Magnetnadel. Jedesmal wo man einen Uebergang von Anziehung zu Abstoßung beobachtet, da giebt es einen Folgepunkt. Deutlich kann man diese polarischen Punkte einer Stange auch nachweisen, wenn man dieselbe mit Eisenfeile umgiebt, oder wenn man auf ein über einen solchen Magnet gelegtes Papier Eisenfeile streut.



Diese ordnet sich dann so, daß man aus der Weise ihrer Vertheilung die Gegenwart der Folgepunkte erkennt.

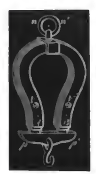
Um einer Verminderung des polaren Gegensatzes, welcher sich selbst überlassene Magnete häufig ausgesetzt sind, zu begegnen, gebraucht man sogenannte Armaturen oder Armirungen (Bewaffnungen). So heißen nämlich im Allge-

meinen Stücke weichen Eisens, welche mit den Magneten in Verbindung gesetzt sind, um ihren magnetischen Gegensatz in seiner Stärke zu erhalten. Bei hufeisenförmig gelegenen Magnetstäben, die man Hufeisenmagnete nennt, dient als Armatur ein einziges Stück weichen Eisens, das die beiden Pole mit einander verbindet und Anker genannt wird. Diese Armirungen bewirken auch eine Erhöhung des Magnetismus. Wenn nämlich die Pole eines Magnets mit weichem Eisen in Berührung sind, so erzeugt jeder Pol in dem berührenden Ende desselben einen ihm ungleichnamigen Magnetpol; dieser aber wirkt auf jenen, den ursprünglich magnetischen Pol, in derselben Weise zurück, so daß die Folge eine Erhöhung der magnetischen Kraft desselben ist. Diese gegenseitige Steigerung des magnetischen Zustandes hat aber ihre Grenze, welche durch die Coërcitivkraft des Magnets bedingt ist. Hängt man an den einen Pol eines Magnets ein Stück weiches Eisen, an das eine Wagschale befestigt ist, in welche man nach und nach verschiedene Gewichte legt, so lange bis man eine weitere Belastung nicht vornehmen kann, ohne das weiche Eisen von dem Magneten abzureißen, so findet man, daß jeden folgenden Tag die Belastung um einiges vermehrt werden kann, ohne daß Trennung erfolgt; aber wenn man nach einer gewissen Zeit das Eisen mit Gewalt abreißt, so zeigt sich der Magnet nicht mehr fähig, die ganze Last zu tragen, welche er vorher trug. Der Magnet hatte unter dem Einflusse des Eisens eine größere Kraft erlangt, als er gemäß seiner Coërcitivkraft zu behalten im Stande war; so wie er daher sich selbst überlassen wird, nimmt er den seiner Coërcitivkraft entsprechenden Grad der Stärke wieder an, oder tritt in den seiner Coërcitivkraft entsprechenden Sättigungszustand. Gesättigte Magnete sind also eben solche, welche so viel Magnetismus angenommen haben, als sie auf Grund ihrer Coërcitivkraft dauernd behalten können. Hufeisenmagnete mit vorgelegtem Anker gerathen leicht in den Zustand einer Uebersättigung, indem ein großer Theil der bereits vorhandenen magnetischen Kraft durch die Rückwirkung des Ankers gewissermaßen gebunden wird, so daß dann durch die Einwirkung eines stärkeren Magnets eine Steigerung der magnetischen Polarität im Hufeisen leichter herbeigeführt werden kann. Wenn man aber den Anker abreißt, so verschwindet der durch den Einfluß desselben über den Sättigungspunkt hinaus erregte Magnetismus wieder.



Will man natürliche Magnete mit einer Armatur versehen, so sucht man an denselben zunächst die Stellen auf, an welchen sich die Pole befinden, schleift dieselben ab, und legt an sie beiderseits Platten von recht weichem Eisen, welche gewöhnlich in dickere Füße ausgehen. Man befestigt diese mittelst messingener Ringe, die mit Schrauben zusammengefügt werden. Die unteren hervorragenden dickeren Enden sind durch Vertheilung magnetisch und heißen die künstlichen Pole des Magnets. An sie wird wie an die Hufeisenmagnete ein Anker angebracht. In nebenstehender Figur ist M der Magnet selbst; a b und c d bezeichnen die Eisenplatten, e und f die hervorragenden Füße, g g den Anker, h dessen Haken mit einem angehängten Gewichte l.

Wenn man zwei Magnetstäbe von gleicher Größe und Stärke mit den gleichnamigen Polen an einander legt, so haben sie beide zusammen eine Tragkraft, die merklich größer als die jedem einzelnen Stabe zukommende ist. Man kann auf dieselbe Weise auch eine größere Anzahl von Magnetstäben, die bis zur Sättigung magnetisirt sind, zusammenlegen, und erhält dann ein sogenanntes magnetisches Magazin. Gewöhnlich nimmt man 3 bis 5 einzelne Magnetstäbe (Lamellen), von denen man den mittelsten am stärksten und längsten macht, so daß die anderen auf beiden Seiten in symmetrischer Weise treppenförmig abnehmen. Die Stäbe können geradlinig oder hufeisenförmig sein. Die nebenstehende Figur zeigt einen Hufeisenmagnet, dessen Lamellen durch die Schrauben V, V' fest zusammengehalten werden. Die Fassung n n' mit einem Ringe dient um den Magneten aufzuhängen. pp' ist der Anker aus weichem Eisen mit einem Haken zur Aufnahme von Gewichten.



Wenn der Pol eines schwachen Magnets mit dem gleichnamigen Pol eines starken in Berührung kommt, so sucht dieser in jenem Magneten eine entgegengesetzte Vertheilung des Magnetismus hervorzubringen, so daß dadurch jedenfalls eine Schwächung des minder kräftigen Magnets und bei hinreichender Stärke des anderen sogar eine Umkehrung der Polarität des schwächeren Magnets hervorgebracht wird. Sinsteden *) hat hervorgehoben, daß hierauf bei der Bildung eines Magnets aus vielen einzelnen Lamellen Rücksicht zu nehmen sei, indem man vermeiden müsse, eine dünne Lamelle auf eine starke oder eine einzelne Lamelle auf eine größere Anzahl schon zusammengelegter zu bringen. Es sei am zweckmäßigsten, zu zusammengesetzten Magneten nur gleich starke Lamellen zu wählen, und diese nach dem Magnetisiren so zusammenzulegen, daß immer nur zwei gleich starke Pole zusammenkommen.

Wenn dem Stahl ein möglichst hoher Grad von Magnetismus auf eine bleibende Weise ertheilt werden soll, so reicht dazu das Magnetisiren durch einfache Berührung allein nicht hin. Ergiebiger ist in dieser Beziehung das Streichen des Stahls mit einem gegebenen Magnete. Die erste vollkommnere Methode dieser Magnetisirung ist wohl von Knight angewendet worden. Im Jahre 1750 beschrieb Michell **) eine Methode, welche er den Doppelstrich nannte, und die auch jetzt noch unter diesem Namen bekannt ist. Dieselbe Methode lehrte aber auch fast gleichzeitig oder sogar noch früher Canton ***), jedoch mit einigen Abweichungen. Und in demselben Jahre machte Duhamel ****) eine ähnliche Methode bekannt. Canton's Verfahren erhielt eine Verbesserung durch Aepinus. Ein Mechaniker Le Maire soll aber der erste gewesen sein, welcher die Magnetisirung durch Stahlstäbe, die unter den zu magne-

---

*) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 29. Vergl. auch Art. Induction, elektrische, Bd. IV. S. 43.

**) A treatise on artificial magnets, in which is shewn an easy and expeditions method of making them superior to the best natural ones etc. Cambridge 1750.

***) Phil. Trans. Vol. 47. f. 1751. p. 34.

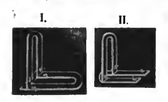
****) Mém. de l'acad. 1750. p. 154.

tisirenden Stab gelegt werden, beförderte. Eine Methode Antheaulme's *) endlich, welche zugleich den Erdmagnetismus als magnetisirendes Princip benutzt, hat sonst Aehnlichkeit mit der Canton'schen.

Das Magnetisiren des Stahls durch den sogenannten einfachen Strich besteht darin, daß man den einen Pol eines Magnets, z. B. den Nordpol, auf die Mitte des zu magnetisirenden Stahlstabes setzt und damit bis an das Ende oder noch etwas darüber hinausstreicht. Dies wiederholt man öfter, und behandelt dann eben so die andere Seite mit dem Südpol des Magnets. Erforderlich ist aber, daß man immer nach derselben Richtung hinstreicht, weil sonst der schon erzeugte Magnetismus wieder zerstört werden würde. Das Ende, welches mit dem Nordpol gestrichen wurde, erhält dann den Südpol und das andere den Nordpol. Man kann aber auch die entgegengesetzten Pole zweier Magnete auf die Mitte setzen, indem man den einen Magneten in die rechte, den anderen in die linke Hand nimmt, und dann gleichzeitig den einen nach der rechten, den zweiten nach der linken Seite fortführen, so daß beide Magnete gleichzeitig an den entgegengesetzten Enden des Stabes ankommen. Hierauf setzt man die Magnete wieder in der Mitte auf und wiederholt das Streichen wie vorher nach entgegengesetzten Richtungen. Der einfache oder getrennte Strich kommt in seiner einfachsten Form zur Anwendung, wenn man den einen Pol eines Magnets auf das eine Ende des Stahlstabes setzt und ihn in einem Zuge bis zum anderen Ende oder noch etwas darüber hinaus fortführt. Dieses Verfahren wird mehrmals wiederholt, indem man den Pol vor jedem neuen Strich in gehöriger Entfernung vom Stabe auf das zuerst berührte Ende des letzteren zurückbringt. Hier entsteht dann ein mit dem aufgesetzten Magnetpole gleichnamiger Pol, während auf der anderen Seite, nach der man hinstreicht, der entgegengesetzte Pol zur Entwickelung gelangt. Nach dieser Methode können indeß nur dünne Stahlstreifen bis zur Sättigung magnetisirt werden. Auch entstehen dabei, wenn das Streichen nicht sehr gleichmäßig geschieht, leicht Folgepunkte. Zur Magnetisirung dickerer Stahlstäbe ist der Doppelstrich von größerer Wirksamkeit. Derselbe besteht darin, daß man auf die Mitte des zu magnetisirenden Stabes die ungleichnamigen Pole zweier Magnete so aufstellt, daß zwischen ihnen noch ein kleiner Abstand sich befindet, den man leicht durch ein Stückchen Holz oder Blei unverändert erhalten kann. Man bewegt nun beide Pole nach demselben Ende hin und wieder zurück bis an das andere Ende, was man mehrmals wiederholt. Während so die beiden Magnetpole auf dem Stabe hin und hergehen, erfahren vorzugsweise die zwischen ihnen liegenden Stahltheilchen einen starken vertheilenden Einfluß. Ein Hufeisenmagnet, dessen Pole nahe an einander stehen, ist zur Ausführung des Doppelstriches bequem. Doch ist eine gewisse Neigung beider Magnetstäbe gegen den zu magnetisirenden Stab vortheilhaft. Man pflegt dieselben gegen letzteren um etwa 15 bis 20 Grad zu neigen. Um aber den während des Streichens erregten Magnetismus zu fixiren und eine kräftigere Einwirkung der Streichmagnete zu veranlassen, ist es zweckmäßig, den magnetisirenden Stab mit seinen Enden auf weiche Eisenstücke oder, wie Aepinus vorgeschlagen, auf die entgegengesetzten

*) Mém. sur les aimans artificiels qui a remporté le prix de l'acad. de Petersbourg. Paris 1760.

Pole zweier starken Magnete zu legen. Aepinus gebrauchte, wie Michell, zum Streichen sogenannte Magnetbündel, die aus einzelnen Stäben zusammengefügt waren, so daß in jedem Bündel die gleichnamigen Pole an einander lagen. — Der Doppelstrich läßt sich auch zum Magnetisiren hufeisenförmiger Stahlstäbe verwenden. Man kann das eine Ende eines solchen Stabes auf den Nordpol eines starken Magnets, das andere auf den Südpol eines zweiten legen, und dann mit zwei geradlinigen Magnetstäben, wie gezeigt, streichen, indem man von der Mitte der Krümmung ausgeht. Oder man benutzt einen Hufeisenmagnet und verfährt nach den beiden folgenden Methoden von Hoffer *). Die beiden Enden des zu magnetisirenden Stabes werden durch ein vorgelegtes weiches Eisen (Anker) mit einander verbunden (s. beistehende Fig. I.). Alsdann setzt man den Streichmagneten so nahe als möglich am Anker und in aufrechter Stellung auf die Schenkel des Stabes und führt ihn gleichförmig und parallel mit sich selbst über die Wölbung hinaus. Dieses Verfahren wird mehrmals wiederholt. Jeder Schenkel erhält dann einen Pol, der mit dem aufgesetzten Pol des Streichmagneten gleichnamig ist, während zugleich an der Wölbung zwei entgegengesetzte Pole entstehen.



Nach der zweiten Methode setzt man die Schenkel des Streichmagnets zuerst auf die Wölbung und führt sie dann nach den Enden des Stabes hin (s. beistehende Fig. II.). In diesem Falle erhält jeder Schenkel die dem berührenden Pole entgegengesetzte Polarität. Den nach der ersten Methode erregten Magnetismus kann man durch die zweite aufheben und auch die Pole umkehren. Ein Verfahren von F. Mohr **) stimmt bezüglich des Streichens mit der zweiten Methode Hoffer's überein, unterscheidet sich aber dadurch von dieser, daß man noch einen zweiten Anker auf das zu magnetisirende Hufeisen legt, ehe man den Streichmagneten entfernt, so daß der letztere durch den einen Anker geschlossen abgehoben wird ***). — Während des Magnetisirens beobachtet man folgende Erscheinungen ****), die ihre Ursache in der Wechselwirkung zwischen dem Streichmagneten, dem zu magnetisirenden Hufeisen und dem Anker haben. Wenn man den Streichmagnet auf die Schenkel des Hufeisens (s. beistehende Fig. I.) aufsetzt, so wird der Anker sogleich angezogen. Wird aber der Streichmagnet weiter gegen die Wölbung hin fortgeführt, so nimmt der Magnetismus eines jeden Schenkels des zu magnetisirenden Stabes ab, und erreicht ein Minimum, wenn der Streichmagnet in eine gewisse Entfernung von den Enden der Schenkel gekommen ist. Setzt man aber den Streichmagneten zuerst in der Nähe der Wölbung auf, so wird der Anker nicht sogleich von den Schenkeln des zu magnetisirenden Hufeisens festgehalten, sondern dieses Festhalten geschieht erst, wenn der Streichmagnet sich dem Anker bis auf eine gewisse Entfernung genähert hat, und nimmt alsdann mit der Fortführung des Streichmagnets nach dem Anker hin zu. Wird aber in der

*) Baumgartner's Zeitschrift für Physik und verwandte Wissensch. Bd. II. S. 197. 360, Bd. III. S. 193.

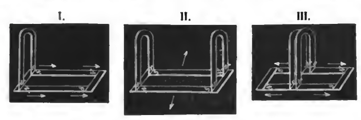
**) Pogg. Ann. Bd. XXXVI. S. 542.

***) Vergl. Dove's Repertorium der Physik. Bd. II. S. 141.

****) Baumgartner's Zeitschrift rc. N. F. Bd. II. S. 360.

Nähe des letzteren der Magnet weggezogen, so nimmt die Wirkung des Hufeisens auf den Anker rasch ab, und dieser fällt ganz ab, wenn der Streichmagnet das Hufeisen nur noch in wenigen Punkten berührt. Sobald aber der erstere ganz hinweggezogen ist, kehrt die Wirkung des magnetisirten Hufeisens auf den Anker in ihrer ganzen Stärke augenblicklich zurück. Aehnliche Erfahrungen wie Hoffer machte in dieser Beziehung F. Mohr, der daraus ein Erkennungsmittel für den Sättigungspunkt des zu magnetisirenden Stabes herleitete. Der Anker wird vom letzteren nicht eher merklich angezogen, als bis dieser einmal von der Wölbung ausgestrichen ist. Beim zweiten Aufsetzen des Magnets auf das Hufeisen haftet der Anker nur schwach, und er wird gar nicht mehr angezogen, wenn der Magnet bis zu einer gewissen Entfernung von den Enden des Hufeisens gekommen ist. Streicht man aber über diesen Abstand weiter hinaus, so macht sich auch die Anziehung wieder geltend. Diese Entfernung, bei welcher die Anziehung sich wieder einstellt, rückt bei jedem folgenden Strich den Enden immer näher. Endlich wird sie stationär und dann nimmt auch die magnetische Kraft des gestrichenen Hufeisens nicht mehr zu.

Hoffer hat seine Magnetisirungsmethoden auch auf gerade Stäbe übertragen, von denen aber dann immer wenigstens zwei zugleich magnetisirt werden. Die Stäbe werden parallel neben einander auf einen Tisch gelegt und an den Endflächen durch Stücke weichen Eisens (Anker) mit einander verbunden. Man stellt nun einen hufeisenförmigen Magneten in der Nähe des einen oder anderen Ankers auf und führt ihn längs der Stangen über die entgegengesetzten Enden hinaus. In der beistehenden Fig. I. zeigen die beigesetzten Pfeile die Richtung des Striches an. Es lassen sich aber auch zwei Streichmagnete zugleich anwenden, von denen man den einen in der Nähe des einen, den zweiten in der Nähe des anderen An-



kers aufsetzt. Man führt dann beide Streichmagnete parallel mit ihrer ursprünglichen Stellung längs der Stangen bis in die Mitte derselben so nahe als möglich gegen einander (s. beistehende Fig. II.), worauf man sie dann entweder zugleich in die Höhe hebt, oder in entgegengesetzten Richtungen an dieser Stelle nach der Seite aus einander zieht, wie solches die in der Figur beigesetzten Pfeile anzeigen. Oder man setzt beide Streichmagnete in der Mitte beider Stangen auf (Fig. III.) und führt sie gleichzeitig in entgegengesetzten Richtungen über die Anker hinaus. — Diese Manipulationen werden in derselben Weise mehrmals wiederholt.

Von dem einfachen Strich und dem Doppelstrich unterscheidet man noch den Kreisstrich, der jedoch höchstens nur als eine Abänderung des Doppelstriches betrachtet werden kann. Bei demselben werden vier Stahlstäbe oder abwechselnd zwei Stahlstäbe und zwei Eisenstäbe so zusammengelegt, daß sie ein Quadrat bil-

den. Hierauf setzt man, wie beim Doppelstrich, zwei ungleichnamige Magnetpole auf einen Stab und führt sie mehrmals in derselben Richtung rings herum. Man erkennt leicht, daß sich dieses Verfahren auch auf zwei mit ihren Endflächen an einander gelegte Hufeisen, und selbst auf ein Hufeisen mit vorgelegtem Anker anwenden läßt. Wenn man vier Stäbe zu einem Vierecke mit einander verbindet, so können zwei derselben auch Magnete sein, die man parallel so neben einander hinlegt, daß ihre ungleichnamigen Pole einander gegenüber liegen. Nach einer Prüfung von Dove soll der Kreisstrich, wenn er auf beiden Seiten eines Stabes angewendet wird, von beträchtlicher Wirkung sein.

Man kann nun auch eine größere Anzahl von Stahlstäben nach einem Verfahren von Coulomb gegenseitig bis zur Sättigung magnetisiren, ohne daß man anfänglich starke Stahlmagnete zur Hand hat. Man macht nämlich zunächst die Stäbe, deren an der Zahl zwölf sein mögen, in verticaler Stellung durch die Wirkung des Erdmagnetismus und durch Hämmern magnetisch. Alsdann nimmt man zwei Stäbe, legt sie parallel mit den ungleichnamigen Polen neben einander und verbindet sie durch kurze Stücke weichen Eisens. Die noch übrigen zehn Stäbe vertheilt man aber in zwei Bündel, setzt diese mit entgegengesetzten Polen auf die Mitte eines der beiden Stäbe, und streicht wie beim Doppel- oder Kreisstrich. Hiernach wird aus jedem Bündel ein Stab herausgenommen und derselbe durch einen der beiden verstärkten Stäbe ersetzt. Dann magnetisirt man die herausgenommenen Stäbe in der vorigen Weise, und setzt die ganze Operation bis zur Sättigung aller Stäbe fort.

Coulomb fand, daß die Kraft magnetischer Magazine, die in bereits angegebener Weise aus einzelnen Magnetstäben gebildet werden, in einem bedeutend geringeren Verhältnisse zunimmt als die Anzahl der einzelnen Stäbe. Auch nimmt diese Kraft nach der Mitte hin ab, wenn das Magazin aus vielen gleich starken Magnetstäben besteht.

Die Tragkraft eines Magnetstabes ist zu unterscheiden von dessen Wirkung in die Ferne, wenn derselbe z. B. an einer in einem gewissen Abstand von ihm befindlichen Magnetnadel eine Ablenkung aus ihrer Gleichgewichtsstellung hervorbringt. Bezüglich der Tragkraft macht sich die Rückwirkung des Ankers sehr geltend, welcher von Seiten des Magnetstabes durch Vertheilung magnetisirt wird und dann auch wieder den Magnetismus des Stabes erhöht. Der Einfluß des Ankers auf die Tragkraft geradliniger Elektromagnete (s. d. Art. Elektromagnetismus Bd. III. S. 796) ist von Dub näher untersucht worden. Dieser Einfluß des Ankers auf die Vergrößerung der Tragkraft ist namentlich auffallend bei hufeisenförmigen Magnetstäben, bei denen beide Pole durch einen Stab aus weichem Eisen mit einander verbunden werden. Ueber die Tragkraft der Hufeisenmagnete hat P. W. Häcker *) vielfache Versuche angestellt. Seine Untersuchungen beziehen sich, wie er bemerkt, auf den beständigen mit gleicher Kraft fortwirkenden Magnetismus, welcher derselbe bleibt, der Anker mag auch noch so oft abgerissen werden, — also auf solche Magnete, die, wie man gewöhnlich zu sagen pflegt, gesättigt sind. Die Ermittelungen des Tragvermögens verschiedener von ihm verfertigter Magnete führten ihn zu der Formel $\alpha = n \sqrt[3]{P}$, wo n das

*) Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 321.

Verhältniß der Tragkraft zu dem Gewichte des Magnets, P die Masse oder das Gewicht des letzteren, und α eine constante Größe bezeichnet, welche das Tragvermögen eines Magnets von der Gewichtseinheit bedeutet. (In logarithmischer Form hat man $\log \alpha = \log n + \frac{1}{3} \log P$.) Aus dieser Formel ergiebt sich, daß, wenn viele kleine Magnete mit einander verbunden werden, das Tragverhältniß eines Magnets abnimmt, wie die dritte Wurzel aus der Masse zunimmt. Häcker gab seiner Formel noch eine andere Gestalt. Bezeichnet man nämlich das Tragvermögen durch Z und setzt man $\frac{Z}{P}$ für n, so erhält man $\alpha = \frac{Z}{\sqrt[3]{P^2}}$ oder $Z = \alpha \sqrt[3]{P^2}$. Bei gleichem Werthe von α verhalten sich hiernach die Quadrate der Gewichte oder Massen zweier Magnete wie die Cubi ihrer Tragkräfte. — Die Tragkraft mehrerer Magnetstäbe zusammengenommen ist etwas größer als die eines einzigen Stabes von gleichem Gewichte. — Zur Ermittelung der Tragkraft eines Magnets ist es erforderlich, daß derselbe senkrecht aufgehangen sei, und daß die Flächen seiner Pole mit der Horizontalebene parallel laufen. Die Last muß genau in der Mitte angebracht sein; auch darf sich der Magnet dabei nicht im mindesten verrücken. — Die Form hat nach Häcker keinen Einfluß, falls dieselbe nicht allzusehr von der gewöhnlichen abweicht. Innerhalb der Grenzen, zwischen denen sich seine Versuche bewegten, ist es gleichgiltig, ob der Querschnitt der Schenkel des Magnets quadratisch, oder zwei bis drei Mal so breit als dick ist, ob sie etwas länger oder kürzer, und ob sie etwas näher oder entfernter von einander sind.

Während Magnete von 1 bis 2 Pfund Gewicht in der Regel kaum das Zehnfache ihres Gewichts zu tragen vermögen, tragen Magnete von wenigen Granen oft mehr als das Fünfzigfache ihres eigenen Gewichtes. So spricht Cavallo von einem Magneten, der 7 Gran wog und doch 300 Gran trug. Ein Magnet von 1 Gran trug armirt 764 Gran, und ein anderer von 3 Gran trug armirt 1032 Gran *). Coulomb's Magnete trugen 100 Pfund bei 20 Pfund Gewicht. Hoffer verfertigte aus feinem Uhrstahl von dichtem und gleichförmigem Gefüge Magnete, welche bei einem Gewichte von 22 Loth 10 Pfund tragen konnten. Die parallelen Schenkel dieser Magnete waren 1 Zoll breit, 0,13 Zoll dick und 7,25 Zoll lang. Der Abstand der Schenkel betrug 0,16 Zoll. — Magnete von ungewöhnlicher Tragkraft erzeugt man am bequemsten durch den elektrischen Strom (s. d. Art. Elektromagnetismus). Die Tiefe, bis zu welcher der Elektromagnetismus in weiches Eisen eindringt, scheint nach einer Untersuchung von Feilitzsch **) der Stromstärke proportional zu sein.

Kräftige Stahlmagnete verfertigt der Mechanikus W. M. Logeman in Haarlem nach einer Methode von Elias. Ein Hufeisenmagnet, der aus einer einzigen Lamelle bestand, und nur 1,09 Pfund preuß. (0,5125 Kilogramm) wog, besaß, wie Poggendorff ***) berichtet, eine constante Tragkraft von 31,5 Pfund preuß. (14,75 Kilogr.), eine Kraft, die mehr als doppelt so groß ist,

*) Baumgartner's Naturlehre 1842. S. 347.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXX. S. 321.
***) Annalen. Bd. LXXX. S. 178.

wie sie von der Häcker'schen Formel $Z = \alpha \sqrt[3]{P^2} = 10{,}33 \sqrt[3]{P^2}$ gefordert wird.

Logeman übersandte Poggendorff folgenden Preiscourant, in welchem die Tragkräfte in preuß. Pfunden, die Preise in holländ. Gulden (die Verpackung mit eingerechnet) angegeben sind. Die beiden ersten Nummern bestehen aus einer Lamelle, Nr. 3, 4 und 5 aus drei, und die drei letzten aus fünf Lamellen. Die angegebenen Tragkräfte sind constant, erhalten sich also noch nach wiederholtem Abreißen der Anker.

Nr.	Tragkraft	Preis	Nr.	Tragkraft	Preis
1	25	10	5	150	95
2	40	17	6	200	128
3	80	42	7	300	170
4	120	78	8	400	240

Auf die Stärke und Dauer des Magnetismus im Stahle ist die Beschaffenheit des letzteren von sehr merklichem Einflusse. Es ist nicht nur die ursprüngliche Beschaffenheit des Materials, sondern auch der Härtegrad des zu magnetisirenden Stahles zu berücksichtigen. In Bezug auf die ursprüngliche Güte des Materials kommt es vorzüglich auf Feinheit des Korns, auf dichte und möglichst vollkommene Gleichartigkeit des Gefüges an. Jede Unterbrechung in der Gleichförmigkeit der inneren Textur ist von Nachtheil für die Empfänglichkeit des Stahles zur Annahme des Magnetismus und für die Fortpflanzung des letzteren in demselben. Durch gleichförmiges Ausschmieden und Härten können aber, wie Baumgartner *) gezeigt hat, auch geringere Stahlsorten brauchbar gemacht werden. Was den Härtegrad anlangt, welcher dem zu einem Magnete bestimmten Stahle ertheilt werden muß, so hängt derselbe selbst wieder von der Beschaffenheit des Materials ab. Es läßt sich dem Stahl der höchste Härtegrad ertheilen, wenn man ihn hell rothglühend macht und rasch in kaltem Wasser oder Quecksilber ablöscht. So gehärteter Stahl ist zwar weniger empfänglich für die Einwirkung des Streichmagnets, nimmt aber allmälig einen starken und sehr andauernden Magnetismus an. Doch ist er auch sehr zerbrechlich, und es entstehen während des Magnetisirens leicht Folgepunkte in ihm. Deshalb pflegt man zur Anfertigung von Magnetnadeln den angelassenen Stahl vorzuziehen. Dieser entsteht, wenn man den glasharten Stahl über Kohlenfeuer langsam erwärmt; der letztere verliert dabei seine anfängliche Härte und Sprödigkeit und nimmt auf seiner Oberfläche mit wachsender Temperatur eine Reihe schöner Farben an (hellgelb oder strohgelb, bronze, tieforange, röthlichviolett, hellblau, glänzende grünlich-blaue Farbe (Wasserfarbe)). Die sogenannte Wasserfarbe des Stahls entspricht einer Temperatur von etwa 450°. Versuchen zufolge ist Stahl, welcher bis zur blauen (Uhrfeder) und selbst bis zur Wasserfarbe angelassen ist, zu künstlichen Magneten

*) Zeitschrift für Phys. u. verw. Wiss. Bd. III. S. 66.

sehr geeignet. Im Allgemeinen hält man ein Anlassen bis zur strohgelben Farbe für genügend.

Häcker *) fand bei seinen Versuchen, daß auch ungehärteter Stahl, wenn er sonst die gehörigen Eigenschaften besitzt, eine bedeutende magnetische Kraft dauernd annimmt. Wenigstens war die Kraft eines derartigen Stabes innerhalb eines Zeitraumes von dreizehn Monaten unverändert geblieben. Von dieser Eigenschaft des Stahles läßt sich, wie Häcker bemerkt, öfter ein nützlicher Gebrauch machen. Da es nämlich bei manchen Versuchen vortheilhaft ist, sich langer Stäbe von geringer Masse zu bedienen, dieselben sich aber beim Härten immer etwas verziehen, so findet dieser Uebelstand bei ungehärteten nicht statt, wodurch man in den Stand gesetzt ist, ihnen eine vollkommen genaue Form zu geben.

Nobili **) untersuchte zwei eiserne Cylinder von gleicher Länge und gleichem Durchmesser, deren einer aber massiv, der andere seiner Länge nach durchbohrt war, auf ihre magnetische Kraft. Nachdem beide Cylinder gehärtet und bis zur Sättigung magnetisirt waren, zeigte der durchbohrte Cylinder eine viel größere magnetische Kraft als der massive.

Bemerkt sei hier, daß weiches Eisen wie durch Kohlenstoff so auch durch einen Zusatz von Schwefel und Phosphor die Eigenschaft erhält, dauernd magnetisch zu werden.

Bei den meisten künstlichen Magneten, die eine mehr oder weniger längliche Gestalt haben, findet die Vertheilung des Magnetismus in der Richtung der Längenaxe statt, so daß auf dieser die entgegengesetzten Pole liegen. Es ist nun noch eine andere Weise der Magnetisirung möglich, die allerdings von der vorigen im Wesentlichen gar nicht verschieden ist, bei der aber die Pole in einer gegen die Längenaxe quer stehenden Richtung zu liegen kommen. Einen solchen Magnet nennt man Transversalmagnet (Quermagnet). Hängt man denselben frei wie eine Magnetnadel auf, so stellt er sich mit der Längenaxe in die Richtung von Ost nach West, indem er, wie ein anderer Magnet, seine nordpolarische Seite gegen Nord, seine südpolarische gegen Süd kehrt. Einen etwas breiten Stahlstreifen kann man leicht so magnetisiren, daß er auf der einen Längenkante Nordpolarität, und auf der anderen Südpolarität erhält. In derselben Weise können bei einem vierkantigen Prisma die diagonal gegenüberliegenden Kanten eine gleichnamige Polarität erhalten. Brechtl ***) wickelte zur Darstellung eines Transversalmagnets auf eine Glasröhre oder auf einen hölzernen Cylinder feinen oder gröberen Stahldraht in Spiralen auf, so daß sich diese einander berührten und als ein zusammenhängender Cylinder die Unterlage bedeckten. Hierauf wurden zwei diametral gegenüberliegende Seiten des Cylinders in der Richtung der Axe mit dem Nord- und Südpol eines Magnetpols bestrichen. Der Cylinder wurde hierdurch seiner ganzen Länge nach auf der einen Seite nord-, auf der anderen südpolarisch. Schmidt ****) bewirkte eine ganz ähnliche Magnetisirung durch die Entladung einer Leydner Flasche, indem er den Schlag durch einen Metalldraht

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 394. 407.
**) Bibl. univ. 1834. p. 82.
***) Gilbert's Ann. Bd. LXVII. S. 259.
****) Gilbert's Ann. Bd. LXX. S. 229.

nahe über dem Cylinder (aus Stahldraht) leitete. Schon Becearia stellte Transversalmagnete dadurch dar, daß er elektrische Schläge durch Nadeln oder Stäbe in einer bestimmten Richtung hindurchführte. — Wenn man mehrere Magnetstäbe in einem kreisförmigen Ringe befestigt, so daß sie wie die Radien desselben in der Mitte (bis auf einen kleinen Zwischenraum) mit ihren ungleichnamigen Polen einander gegenüberliegen, so wird ein durch die Mitte gezogener Stahldraht oder Stab in der Art magnetisirt, daß an ihm so viele Reihen von diametral gegenüberliegenden Polen entstehen, als Magnetstäbe benutzt wurden.

In früherer Zeit hat man sich auch vielfach bemüht, künstliche Magnete, gewissermaßen als Nachahmung der natürlichen, herzustellen aus Gemengen von Eisenoxyd oder Eisenstaub (Stahlstaub) mit zähflüssigen Substanzen, wie Leinöl. So erhält man einen Brei oder Kleister, der bei mäßiger Hitze getrocknet endlich eine hinlängliche Festigkeit erlangt *). Die ersten derartigen Versuche stellte Knight an. Nachher hat Ingenhouß **) ähnliche Magnete verfertigt, indem er pulverisirten Magnet (Magnetstaub), Kohlenstaub und Leinöl oder statt der letzteren Käse mit fein gepulvertem ungelöschten Kalk anwendete. Auch mengte er Magnetstaub mit Wachs, um biegsame Magnete zu erhalten. Derselbe fand, daß derartige mit Magnetstaub verfertigte Magnete stärker waren als solche, welche mit Eisen verfertigt waren, und daß man in ihrer Masse beliebig viele magnetische Pole durch einfache Berührung mit einem magnetisirten Stabe erzeugen konnte. Den Magneteisenstein oder das magnetische Eisenoxydoxydul kann man nach Keßler und Böttcher künstlich darstellen, wenn man einen Hufeisenmagnet in Eisenfeile steckt und die daran hängenbleibende Eisenfeile in die Form einer kleinen Stange bringt, welche man mit einem Löthrohr gehörig durchglüht.

Um das Magnetisiren durch Streichen zu befördern, hat man die Erwärmung der zu magnetisirenden Stäbe (bis zu einem gewissen Temperaturgrade) empfohlen ***). Die Wärme erhöht die Empfänglichkeit des Eisens für die Annahme des Magnetismus, und schon Robison fand, daß ein kleiner rothglühend gemachter Stab zwischen zwei Magnetpolen abgelöscht stärker als auf irgend eine andere Weise magnetisch werde. Ein Eisenstab soll, wie man mitunter zu sagen pflegt, durch plötzliche Abnahme der Wärme magnetisch werden. So wird ein solcher Stab, wenn man ihn, nachdem er rothglühend gemacht worden, in lothrechter Stellung in Wasser taucht, dergestalt magnetisch, daß sein unteres Ende einen Nordpol, das obere einen Südpol erhält. Hier ist es wieder der Erdmagnetismus, dessen magnetisirende Wirkung auf den Eisenstab durch die Erhitzung des letzteren begünstigt wird. Umgekehrt wird die im Stahle schon vorhandene magnetische Kraft durch die Wärme geschwächt. Ueber den Einfluß der Wärme auf den Magnetismus wird weiter unten ausführlicher die Rede sein.

Es ist schon im Art. Licht Bd. IV. S. 480 unter Beifügung der nöthigen literarischen Nachweisungen hervorgehoben worden, daß man auf Grund gewisser Versuche auch dem Sonnenlichte eine magnetisirende Wirkung zugeschrieben habe. Morichini experimentirte mit stählernen Nadeln, wie sie zu Boussolen gebraucht

*) Phil. Trans. Vol. LXIX. for 1778. No. 5.
**) Vermischte Schriften. Th. I. S. 402.
***) Fr. Fischer: Praktische Anleitung zur Verfertigung künstlicher Magnete. 1833.

werden. Dieselben waren mittelst gläserner Hütchen leicht auf Spitzen beweglich, und wurden auf einem hölzernen Lineal in die äußerste Grenze der violetten Strahlen des Sonnenspectrums gebracht. Hier erlangten sie nach einiger Zeit die Fähigkeit, sich in den magnetischen Meridian zu stellen. Die Wirkung wurde beschleunigt und verstärkt, wenn die violetten Strahlen durch biconvexe Gläser concentrirt auf die Nadel fielen. Barlocci bewegte das concentrirte violette Bild von der Mitte der Nadel nach dem Nordende und dann in derselben Weise nach dem Südende hin. Die so behandelten Nadeln stellten sich nicht allein in den magnetischen Meridian, sondern konnten auch ganze Bündel von Eisenfeilicht tragen. Blaues und grünes Licht sollen ebenfalls, obschon in geringerem Grade als violettes Licht, Magnetismus in Stahlnadeln erregen, nicht aber rothes und gelbes, selbst nicht nach dreitägiger Fortsetzung des Versuches. Als günstige Bedingung zum Gelingen des Versuches mit violettem Lichte wird angegeben, daß der Himmel heiter sein müsse. — Gegen diese Versuche trat Configliachi auf *), der in einem dunklen Zimmer Nadeln aus weichem Eisen und Stahl auf feinen Spitzen schweben ließ. Dieselben waren durch Glasglocken gegen den Luftzug geschützt und in hinreichender Entfernung von einander; sie blieben vier Monate lang im Dunklen und wurden täglich untersucht. Es stellte sich heraus, daß die meisten dieser Nadeln eine Richtung annahmen, die von derjenigen des magnetischen Meridians nur wenig abwich, und daß einige in demselben lagen. Nadeln aus weichem polirten Eisen gaben gewöhnlich am ersten ein Zeichen von aufgenommenem Magnetismus, später die aus hartem Eisen und noch später die aus Stahl. Lange Nadeln wurden schneller magnetisch als kurze. Bei Nadeln, deren eines Ende schon vor dem Versuche tiefer lag, als das andere, wurde das tiefere immer nordpolarisch. — In einem hellen Zimmer mit weißen Wänden (in den dunkeln waren die Wände schwarz angestrichen) zeigten die Nadeln dieselben Erscheinungen. Nadeln aus Eisen und Stahl, auf welche im dunklen Zimmer Sonnenlicht geleitet wurde, blieben unmagnetisch, auch wenn das Licht nur auf das eine Ende der Nadeln fiel. Concentration der Sonnenstrahlen durch eine Linse verrieth einige Wirkung, namentlich bei eisernen Nadeln. Hier war es aber nach Configliachi die Wärme, welche das Eisen für den Magnetismus empfänglicher machte. Das violette Licht erwies sich als ganz unwirksam, wenn die Nadeln nicht, wie nach Morichini's Verfahren, eine Zeit lang im Meridian gehalten wurden. Configliachi zieht aus seinen Versuchen folgende Schlüsse:

Die Eisen- und Stahlnadeln, die man gewöhnlich für nicht magnetisch hält, sind selten ohne allen Magnetismus, und sie nehmen auf jeden Fall einen Theil desselben im Verlaufe der Zeit an. Dies geschieht durch die Einwirkung des Erdmagnetismus, welche durch die Richtung und Lage, die man den Nadeln giebt, nämlich diejenige der Abweichungs- und Neigungsnadel, ferner durch Wärme merklich begünstigt wird. Weder das reine Sonnenlicht, noch irgend einer der farbigen Strahlen gehören zu diesen Begünstigungsmitteln, noch viel weniger können sie durch sich die magnetische Kraft mittheilen. Die Wirkung der concentrirten Sonnenstrahlen ist einzig der bedeutenden Wärme zuzuschreiben, welche durch sie entwickelt wird.

*) Journ. de Phys. Sept. 1813; Gilbert's Ann. Bd. XLVI. S. 337.

Später experimentirte Lady Sommerville in dieser Angelegenheit dem Anscheine nach mit günstigem Erfolge. Dieselbe legte eine unmagnetische, zur Hälfte mit Papier bedeckte Stahlnadel von etwa 1 Zoll Länge in einem dunkeln Zimmer in das violette Spectrum des Sonnenlichts. Nach einigen Stunden war diese Nadel magnetisch, und das dem Lichte ausgesetzte Ende zeigte einen Nordpol. Dasselbe gelang mit Uhrfedern. Und die Wirkung wurde durch Concentration der Strahlen mittelst einer Linse sehr befördert. Grüne und blaue Bänder, in welchen die Nadel zur Hälfte eingewickelt war, brachten der Sonne ausgesetzt dieselbe Wirkung hervor, wenn die andere Hälfte der Nadel auf andere Weise bedeckt war; eben so grüne oder violette Gläser. Dagegen waren rothe, gelbe oder orange Seide und Gläser unwirksam. Lady Sommerville fand als die günstigste Zeit zum Gelingen dieser Versuche die Zeit zwischen 10 und 1 Uhr im Sommer.

Hiernach machte auch Baumgartner diese Sache zum Gegenstande seiner Untersuchungen. Derselbe bemerkte, daß schon eine ungleiche Einwirkung des weißen Lichts auf die entgegengesetzten Theile der Nadel hinreichend sei, den Stahl magnetisch zu machen. Stahlnadeln, die an dem einen Ende polirt waren, nahmen hier (an diesem Ende) den Nordpol, am anderen den Südpol an. Um den Unterschied zwischen den Einwirkungen des Lichts auf die beiden Hälften der Nadeln zu steigern, wurden die letzteren vollständig ausgeglüht, so daß sie sich mit schwarzem Oxyd bedeckten. Das letztere wurde an dem einen Ende mittelst eines geölten Steines entfernt, und dieses Ende dann vollends mit Kreide und Lindenholz polirt. Das andere Ende behielt seine Oxydhaut. Diese Nadeln erlangten in kurzer Zeit, dem Sonnenlichte ausgesetzt, magnetische Polarität, dergestalt, daß das polirte Ende wieder einen Nordpol erhielt. Zwei durchweg polirte und mehrere ganz schwarz gelassene Nadeln verriethen durch längere Einwirkung des Sonnenlichts keinen Magnetismus. — Später stellte Zantedeschi Versuche an mit Drähten aus weichem Eisen, sowohl im weißen Sonnenlichte als auch im violetten Theil des Spectrums. Auch er spricht sich auf Grund seiner Versuche für einen magnetischen Einfluß des Sonnenlichtes aus, obschon die Resultate dieser Versuche nicht ganz mit denen von Morichini und Barlocci übereinstimmen. So erhält man nach ihm nur schwache und ungewisse Wirkungen, wenn man den violetten Strahl von der Mitte bis zum Ende der Nadel führt.

Rieß und Moser unterzogen sich einer sehr genauen und sorgfältigen Untersuchung dieses Gegenstandes. Die Methoden, welche man angewendet hatte, um die dem Sonnenlichte ausgesetzten Nadeln auf ihren Magnetismus zu prüfen, bestanden erstens in der Richtung der Nadel in den magnetischen Meridian, zweitens in ihrer Abstoßung einer frei schwebenden Magnetnadel, und drittens in der Anziehung von Eisenfeile. Was die erste erwähnte Methode betrifft, so ist sie wohl zum Nachweis eines starken, andauernden, nicht aber eines schwachen und ungewissen Magnetismus ausreichend. Anstatt die Nadeln auf Spitzen zu legen, empfehlen sie das Aufhängen derselben an einem ungedrehten Seidenfaden. Unter mehreren hundert wohl ausgeglühten Nadeln fanden nun diese Physiker nur wenige (zwei bis drei), die nicht in einigen Minuten ein deutliches Streben nach dem magnetischen Meridian gezeigt hätten. Der eigentliche Werth dieser Prüfungsmethode ergiebt sich hieraus von selbst. Bezüglich der zweiten Methode, der Abstoßung einer beweglichen Magnetnadel, machen sie die Bemerkung, daß diese

Nadel nicht ein solches Uebergewicht magnetischer Kraft besitzen dürfe, daß dieselbe den Magnetismus der zu prüfenden Nadel überwinden könne. In diesem Falle geht die Abstoßung bei großer Nähe leicht in Anziehung über. Außerdem erfordere die Anwendung dieser Methode noch eine besondere Vorsicht. Wenn nämlich das zu prüfende Ende der Nadel nur ein wenig niederwärts geneigt oder wenn die Nadel nicht winkelrecht auf den magnetischen Meridian gehalten wird, so macht sich nothwendig die Wirkung des Erdmagnetismus geltend. Die dritte Methode leidet an demselben Fehler. Um die Anziehungskraft des einen Endes der Nadel zu prüfen, wird diese gewöhnlich in geneigter Richtung in die Eisenfeile gehalten, wodurch das tiefer liegende Ende nordpolarisch wird. — Rieß und Moser hingen die zu prüfenden Nadeln an einem Coconfaden auf, und bedienten sich der Schwingungsmethode (s. weiter unten). Die Nadeln wurden nicht durch Ablenkung von Seiten eines Magnets in Schwingung gesetzt, sondern vermittelst eines leicht auszulösenden Kupferhakens. Dieselben waren meist aus englischem Stahl, und wurden erst einige Tage nach ihrem Ausglühen zu den Versuchen verwendet. Die Behandlung dieser Nadeln mit dem violetten Theile des Sonnenspectrums (nach Morichini's und Barlocci's Weise) gab fast eben so oft eine Verminderung als eine Vermehrung der Schwingungszeit, so daß daraus auf eine Vermehrung oder Erweckung von Magnetismus gewiß nicht geschlossen werden konnte. Polirte Nadeln und Uhrfedern, wie sie Lady Sommerville angewendet hatte, führten zu demselben Resultate. — Als das eine Ende einer unmagnetischen Nadel dem Südpol einer beweglichen Magnetnadel so nahe gebracht worden war, daß ihre Schwingungszeit um eine gewisse Größe abgenommen hatte, wurde der violette Lichtstrahl auf dieses Ende gelenkt. Es hätte nun hierdurch die Nordpolarität dieses Endes erhöht und demgemäß die Schwingungszeit der Magnetnadel vermindert werden müssen. Allein sie blieb unverändert, selbst dann, wenn das violette Licht im concentrirten Zustande angewendet wurde. Daß, wie in den Versuchen von Baumgartner, die eine Hälfte der Nadel schon durch das Poliren nordpolarisch wird, leiten die beiden Physiker daraus ab, daß die Nadel beim Poliren nach Norden gerichtet und mit diesem Ende etwas gesenkt war, wo dann der Erdmagnetismus wirksam werden mußte. Wenn dasselbe Ende nach Süden gerichtet und erhoben wurde, so nahm es Südpolarität an. Versuche mit Nadeln, die zur Hälfte polirt waren und unter dem Einflusse des Sonnenlichtes auf ihre Schwingungszeit geprüft wurden, führten zu keinem Resultate, das zu Gunsten einer magnetisirenden Wirkung des Sonnenlichtes hätte ausgelegt werden können. Auch die Anwendung des polarisirten Lichtes hatte keinen Erfolg. — Nachdem diejenigen Versuche, deren Resultate am meisten für eine magnetische Wirkung des Sonnenlichtes zu sprechen schienen, einer sorgfältigen Prüfung unterworfen waren, hielten es Rieß und Moser nicht für nöthig, die Versuche Zantedeschi's prüfend zu wiederholen, namentlich da dieser mit Nadeln aus weichem Eisen experimentirt hatte, welche so leicht dem Einflusse des Erdmagnetismus ausgesetzt sind. Der höchst wahrscheinliche Schluß, zu dem die von Rieß und Moser mit so großer Sorgfalt angestellten Untersuchungen führten, ist nun der, daß der behauptete Einfluß des Sonnenlichts seinen Grund in den Methoden hat, welche zur Prüfung desselben angewendet worden sind. Versuche von Seebeck führten endlich ebenfalls zu keinem, die Magnetisirung durch das Sonnenlicht bestätigenden Resultate.

Christie*) kam durch die Vergleichung der Schwingungszeiten einer magnetisirten Nadel, die er im Schatten und in der Sonne oscilliren ließ, zu der Meinung, daß der Magnetismus durch die Sonnenstrahlen selbst eine Veränderung (Verstärkung) erleide. In der Sonne kam die Nadel merklich früher als im Schatten zur Ruhe. Nach Baumgartner**), der hierüber ebenfalls Versuche anstellte, rührte die Verminderung des Schwingungsbogens einer horizontal schwingenden Magnetnadel im Sonnenlichte nicht von einer magnetischen Kraft des letzteren her, sondern sie ist die Folge von Strömungen und Wirbeln, welche durch die Erwärmung von außen in der eingeschlossenen Luft des Gehäuses der Magnetnadel hervorgebracht werden.

Man ist also nach den vorliegenden Thatsachen noch keineswegs zur Annahme einer magnetisirenden Wirkung des Sonnenlichtes berechtigt.

Die Wirkungsgesetze der magnetischen Kräfte sind zuerst von Coulomb***) genauer untersucht worden. Er benutzte hierzu zwei Methoden, welche zu demselben Resultate führten. Die eine ist die sogenannte Oscillationsmethode, die andere beruht auf der Eigenthümlichkeit der Drehwage (s. d. Art.), die hier in ähnlicher Weise wie bei der Messung elektrischer Kräfte (Art. Elektrometer) zur Anwendung kommt. Durch Coulomb wurde das Gesetz bestätigt, daß die Anziehungen und Abstoßungen der magnetischen Elemente sich verhalten umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Man hatte dieses Gesetz wohl schon früher als der Wahrscheinlichkeit gemäß angenommen, so wie es dann auch bei den Versuchen verschiedener Physiker innerhalb gewisser Grenzen zu Tage getreten war ****).

Wenn eine Magnetnadel in einer horizontalen Ebene frei beweglich ist, so nimmt sie vermöge der Einwirkung des Erdmagnetismus eine bestimmte Richtung an, welche in der Ebene des magnetischen Meridians (s. d. Art. Magnetismus der Erde) liegt. Wird sie nun durch eine äußere Ursache aus dieser Richtung abgelenkt, so kehrt sie in die letztere nach einer Reihe von Schwingungen stets wieder zurück, und zwar mit einer Geschwindigkeit oder Energie, welche von der Kraft des Erdmagnetismus und dem freien Magnetismus der Nadel abhängig ist. Diese Energie wird aus der Anzahl der Oscillationen gemessen, die sie in einer gegebenen Zeit ausführt. Eine solche Magnetnadel verhält sich nämlich in Bezug auf die magnetischen Kräfte der Erde wie ein gewöhnliches Pendel in Bezug auf die Schwere. Hier wie dort verhalten sich die bewegenden Kräfte wie die Quadrate der Schwingungszahlen oder auch umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten.

Kennt man nun die Anzahl der Schwingungen, welche eine Magnetnadel

*) Phil. Trans. for 1826. Baumgartner's Zeitschrift rc. Bd. III. S. 96.

**) Zeitschrift f. Phys. u. verw. Wiss. Bd. III S. 157.

***) Mém. de l'acad. 1785. p. 606.

****) Lambert: Hist. de l'acad. roy. de Berlin 1765. p. 22. Götting. Gelehrt. Anz. 1760 (T. Mayer). Musschenbroek, dissertatio physica experimentalis de magnete, Lugd. Batav. anno 1729. edita. Viennae Austr. 1754. Dalla Bella: vergl. Gehler's phys. Wörterbuch. N. A. Bd. VI. S. 756.

in einer gewissen Zeit macht, wenn sie nur der Einwirkung des Erdmagnetismus unterworfen ist, und dann auch diejenige Anzahl von Schwingungen, welche sie unter gleichzeitiger Einwirkung des Erdmagnetismus und eines Magnetstabes macht (der mit demselben in gleichem Sinne auf die Nadel wirkt), so ergiebt sich hieraus leicht ein Maß für die Wirkung dieses Stabes. Eine sehr kleine Magnetnadel, welche an einem Coconfaden aufgehängt und vor Störungen durch zufällige Bewegungen der Luft geschützt ist, werde nun in Bezug auf die Anzahl der Oscillationen, die sie unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus in einer gewissen Zeit macht, beobachtet. Sie mache 15 Schwingungen in 1 Minute, und M bezeichne die horizontal auf sie einwirkende Kraft des Erdmagnetismus. Man lasse auf sie den anziehenden Pol eines langen magnetisirten Stahldrahtes wirken (s. nebenstehende Figur), welcher vertical in der Ebene des magnetischen Meridians so gehalten wird, daß dieser Pol in gleiche Höhe mit der Nadel zu liegen kommt. Coulomb gebrauchte Stahldrähte von $1^1/_2$ bis 2 Linien Durchmesser und 24 bis 25 Zoll Länge. Die Nadel machte nun in den Versuchen Coulomb's 4 Zoll von dem Drahte entfernt 41 Oscillationen in 1 Minute. Die auf sie einwirkenden Kräfte waren $M + M'$, wenn M' die Wirkung des Drahtes in dieser Entfernung bezeichnet. Bei einer zweiten Beobachtung, als die Nadel 8 Zoll von dem Drahte entfernt war, machte sie 24 Oscillationen in 1 Minute. Die auf die Nadel einwirkenden Kräfte waren jetzt $M + M''$, wo M'' die in der Entfernung von 8 Zoll auf die Nadel stattfindende Wirkung des Drahtes ist. Man hat nun $\frac{M + M'}{M} = \frac{41^2}{15^2}$ und $\frac{M + M''}{M} = \frac{24^2}{15^2}$. Hieraus folgt



$$\frac{M'}{M''} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351} = 4,1.$$

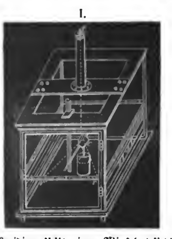
Bei der zweiten Beobachtung beträgt also die Entfernung doppelt so viel und die Kraft ist $^1/_4$ so groß als bei der ersten Beobachtung, worin das Gesetz der Abnahme der magnetischen Wirksamkeit nach dem Quadrate der Entfernung deutlich hervortritt.

Die magnetische Drehwage, welche Coulomb zur Bestätigung desselben Gesetzes gebrauchte *), zeigt die umstehende Fig. I. An dem unteren Ende des feinen Drahtes ist eine dünne Hülse angebracht, in welche die Magnetnadeln gelegt werden. Um die Oscillationen der Nadel zu verhindern, läßt sich an die Hülse ein Flügel befestigen, welcher in ein Gefäß mit Wasser taucht. Um den Glaskasten, welcher die Nadel umgiebt, ist eine Gradeintheilung auf Papier gelegt, durch deren Mittelpunkt die Nadel gehen muß, und wenn dies der Fall ist, so müssen die Punkte 0°, 180° und der Faden in einer geraden Linie liegen, und eben so die Punkte 90°, 270° und der Faden ꝛc. Ist die Wage gehörig eingerichtet, so bestimmt man die Gleichgewichtsstellung des Fadens oder des feinen

*) Biot: Trait. de phys. T. III. p. 63.

Drahtes, indem man in die Hülse eine nicht magnetisirte Nadel legt. Hierauf bringt man eine Magnetnadel in die Hülse und dreht das oben angebrachte Mikrometer, dessen Einrichtung im Art. Drehwage beschrieben ist, in dem einen oder anderen Sinne, bis die vorhin bestimmte Gleichgewichtsebene des Fadens mit der Richtung der Nadel zusammenfällt. Dann befindet sie sich in der Richtung des magnetischen Meridians, und der Faden oder Draht hat keine Drehung erlitten. Nehmen wir jetzt an, das Mikrometer werde gedreht, um die Nadel aus ihrer Stellung zu entfernen. Sie werde dadurch in die Stellung VA' (in beistehender Fig. II., welche einen Horizontaldurchschnitt darstellt, der dem unteren Ende des dünnen Drahtes entspricht) gebracht, so daß sie mit dem magne-

I.



II.



tischen Meridian MM' einen Winkel AVA' = 20° macht. Gesetzt man müßte zu diesem Zwecke das Mikrometer um 180° drehen, so erhielt der Faden, da die Nadel unten nur 20° aus der Richtung des Meridians gebracht wurde, eine Drehung von 180° — 20° = 160°, und die dieser Drehung entsprechende Kraft hält also der die Nadel richtenden Kraft der Erde das Gleichgewicht, nämlich der in horizontaler Richtung wirkenden Kraft, welche die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt. Es bezeichne M die Intensität der horizontalen Kraft des Erdmagnetismus FA', welche sich in zwei andere Kräfte zerlegt, nämlich PA', welche keine Drehung der Nadel hervorbringt, und TA', die vollkommen wirksam ist. Bezeichnet V den Winkel AVA' (die Ablenkung der Nadel), so ist M sin V der Werth jener Kraft TA'. Bei Winkeln unter 20° und 15° kann man die Winkel allenfalls ohne merklichen Irrthum für die Sinus derselben nehmen, und innerhalb dieser Grenzen wird daher die richtende Kraft durch M.V ausgedrückt. In dem angenommenen Beispiele ist V = 20°; also 20° M die Kraft, welche durch eine Drehung um 160° aufgewogen wird, und weil der Drehungswiderstand des Fadens (oder Drahtes) dem Drehungswinkel proportional ist, so ist folglich für 1° Ablenkung die richtende Kraft $= \frac{160}{20} = 8$. In dieser Weise läßt sich im Allgemeinen die richtende Kraft auf 1° Ablenkung

zurückführen. Bei Coulomb's Versuchen hatte nun die Magnetnadel eine richtende Kraft von 35° Drehung bei 1° Ablenkung. Ein magnetisirter Stahldraht von gehöriger Länge wurde in verticaler Stellung in die Wage gebracht, so daß sein abstoßender Pol nach unten gerichtet war, und sein unteres Ende ungefähr einen Zoll unter das Niveau der Magnetnadel zu liegen kam, so daß, wenn der aufgehängte Draht nicht abgestoßen worden wäre, der Durchschnitts- oder Kreuzungspunkt dieses Drahtes und der Nadel (die letztere verlängert gedacht) ungefähr einen Zoll vom Ende des Drahtes entfernt gewesen wäre. Aber die Nadel wurde lebhaft aus ihrer Stellung getrieben, und blieb erst 24° vom magnetischen Meridian stehen. Diese Stellung wollen wir ihre erste Stellung nennen. Um ihr eine zweite zu ertheilen, wurde das Mikrometer um drei Umkreise gedreht, d. h. um 1080°, und die Nadel näherte sich bis zu 17° vom Meridian. Endlich, um ihr eine dritte Stellung zu geben, wurde das Mikrometer noch um 5 Umkreise gedreht, also im Ganzen um 8 Umkreise = 2880°, und nun stellte sich die Nadel bei 12° vom Meridian ein. In der ersten Stellung wurde die Nadel nach der Ebene des magnetischen Meridians durch die richtende Kraft des Erdmagnetismus und durch die 24° betragende Drehung des Drahtes (Fadens) zurückgedrängt. Da nun aber die Kraft des Erdmagnetismus, wie oben bemerkt wurde, 35° Drehung für 1° Ablenkung gleich kam, so betrug sie für 24° Ablenkung $35 . 24 = 840°$. Hierzu kamen noch 24° Drehkraft des Drahtes; folglich war die Gesammtkraft, welcher die die Ablenkung der Nadel bewirkende Kraft gleich kam, 864°. In der zweiten Stellung der Nadel findet sich eben so die Gesammtkraft $= 35 . 17 + 1080 + 17 = 1692°$; und in der dritten Stellung $= 35 . 12 + 2880 + 12 = 3312$. Die Entfernungen in den angegebenen drei Stellungen sind also 24, 17 und 12, die entsprechenden abstoßenden Kräfte 864, 1692, 3312. Die Quadrate der Entfernungen sind 576, 289 und 144, und es verhält sich annäherungsweise $576 : 289 : 144 = 3312 : 1692 : 864$.

Das Gesetz der Abnahme nach dem Quadrate der Entfernung läßt sich in ähnlicher Weise auch für die magnetische Anziehung darthun. — Durch die beiden vorher beschriebenen Methoden kann dieses Gesetz nur innerhalb gewisser Grenzen bestätigt werden. Coulomb gebrauchte lange magnetisirte Stahldrähte, um den Einfluß der Pole zu vermeiden, deren Wirkung nicht in Betracht gezogen werden sollte. Bei größeren Abständen tritt das Gesetz nicht mehr hervor, weil mit wachsender Entfernung auch der andere Pol des Drahtes auf den zugewandten Pol der Magnetnadel einen merklichen Einfluß ausübt. Die Totalwirkung eines Magnets auf den Pol eines anderen oder auf die Ablenkung des letzteren Magnets verhält sich, wie Gauß*) gezeigt hat, umgekehrt wie die dritte Potenz der Entfernung. Dieses Gesetz ist aber nur eine nothwendige Folge des bereits erörterten, daß sich nämlich die Wirkungen der magnetischen Elemente umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten. Das Gesetz von der Abnahme der Gesammtwirkung mit dem Cubus der Entfernung tritt in den Versuchen mit Evidenz hervor, sobald die Entfernung der Magnete die Dimensionen der letzteren

*) Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata. Goettingae 1833. Poggend. Ann. Bd. XXVIII. S. 241. 591. Dove's Repert. 2. S. 159.

um ein Bedeutendes übertrifft. Gauß nahm zunächst ganz allgemein an, daß die Wirkung der magnetischen Elemente bei einer beliebigen Lage der beiden Magnete zu einander im umgekehrten Verhältniß der nten Potenz der Entfernung stehe. Bezeichnet v den Winkel, um welchen eine beweglich aufgehängte Magnetnadel von einer anderen festen Nadel aus der Gleichgewichtslage abgelenkt wird, so läßt sich die Tangente desselben in einer Reihe nach fallenden Potenzen der Entfernung R beider Magnete entwickeln. Es ist nämlich

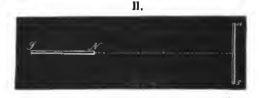
$$\text{tang} \cdot v = L R^{-(n+1)} + L' R^{-(n+3)} + L R^{-(n+5)} + \dots$$

wo L einen Coefficienten bedeutet, der vom Magnetismus der Nadel, vom horizontal wirkenden Theile des Erdmagnetismus und von dem Widerstande abhängig ist, den die Torsion (Drehung) des Fadens, an welchem die bewegliche Magnetnadel aufgehängt ist, der Ablenkung entgegensetzt. Gauß führte zwei Versuchsreihen aus, wobei er sich des Magnetometers (s. d. Art.) bediente. Ein Magnetstab NS wurde in verschiedenen Entfernungen von der beweglichen Magnetnadel aufgestellt, und zwar bei der einen Versuchsreihe so, wie beistehende Fig. I. zeigt, bei der zweiten Versuchsreihe dagegen dergestalt, wie es die Fig. II. angiebt. Im ersten Falle steht also die Richtung der Nadel n s senkrecht auf der Richtung des Stabes NS und geht durch dessen Mitte. Im zweiten Falle liegt die Mitte der

I.



II.



beweglichen Nadel in der Verlängerung des Stabes NS. Gauß zeigte, daß in diesem Falle die ablenkende Kraft des Stabes nmal so groß als im ersten Falle ist. Die zu diesen Versuchen angewendeten Magnetnadeln hatten eine Länge von $0^m,3$. Die bewegliche Nadel befand sich im Magnetometer (s. d. Art.), und es wurde südlich von derselben eine andere Nadel so angebracht, daß beide zu einander eine solche Lage hatten, wie in Fig. I. NS und n s. Die Ablenkung, welche die feste Nadel an der beweglichen Magnetometernadel hervorbrachte, war nur klein, so daß man die Größe des Ablenkungswinkels als Maß der ablenkenden Kraft des Magnets NS betrachten konnte. Der einer bestimmten Entfernung entsprechende Werth des Ablenkungswinkels v wurde als Mittel aus vier Beobachtungen bestimmt. Wenn die Nadel NS zu der Nadel n s im Magnetometer die Lage hatte, wie Fig. I., so geschah die Ablenkung des Pols s gegen die Linke. Hierauf wurde die Nadel NS umgekehrt, so daß S an die Stelle von N und der letztere Pol an die Stelle des ersteren kam. Der Pol s wurde dann eben so stark nach der Rechten hin abgelenkt. Alsdann wurde der Stab in derselben Entfernung und auf dieselbe Weise wie vorher auf der nördlichen Seite der Magnetometernadel ange-

bracht, um wieder eine östliche und westliche Ablenkung der Magnetometernadel zu beobachten. Aus diesen vier Beobachtungen wurde zur Bestimmung des Werthes von v das arithmetische Mittel genommen, und dann dieselbe Beobachtungsweise für verschiedene Entfernungen wiederholt. Bei der zweiten Versuchsreihe wurde der Ablenkungsnadel eine solche Lage gegen die Magnetometernadel gegeben, wie in vorstehender Fig. II. Nachdem die Ablenkung v′ der letzteren beobachtet war, wurde die Nadel NS umgekehrt, nämlich N an die Stelle von S und S an die Stelle von N gebracht. Die nun erfolgende Ablenkung wurde notirt und dann die Nadel NS eben so weit auf die andere Seite (ostwärts) von der Magnetometernadel gebracht, um auch hier zwei Ablenkungen in der vorigen Weise zu beobachten. Das Mittel aus diesen vier Ablenkungen gab den genauen Werth des Ablenkungswinkels v′. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche. R bezeichnet die jedesmalige Entfernung der Aufhängeaxe der Magnetometernadel vom Mittelpunkte der Nadel NS. Die Entfernungen R sind in Theilen des Meters gegeben.

R	v	v′	R	v	v′
m			m		
1,1	1°57′ 24″,8		1,9	0°22′ 9″,2	0°43′ 21″,8
1,2	1 29 40,5		2,0	0 19 1,6	0 37 16,2
1,3	1 10 19,3	2°13′ 51″,2	2,1	0 16 24,7	0 32 4,6
1,4	0 55 58,9	1 47 28,6	2,5	0 9 36,1	0 18 51,9
1,5	0 45 14,3	1 27 19,1	3,0	0 5 33,7	0 11 0,7
1,6	0 37 12,2	1 12 7,6	3,5	0 3 28,9	0 6 56,9
1,7	0 30 57,9	1 0 9,9	4,0	0 2 22,2	0 4 35,9
1,8	0 25 59,5	0 50 52,5			

Wenn man nun für größere Entfernungen die Zahlen der zweiten Columne und eben so die der dritten mit einander vergleicht, so erkennt man leicht, daß sich dieselben sehr nahe umgekehrt wie die dritten Potenzen der entsprechenden Entfernungen R verhalten. Es ist demnach in der obigen Formel (S. 766) $n = 2$ zu setzen. Eben so leicht überzeugt man sich aus dieser Tafel, daß die Zahlen der dritten Columne nahe doppelt so groß sind als die Zahlen der zweiten Columne. Um dieses Gesetz in den einzelnen Versuchen noch mehr zu bestätigen, berechnete Gauß nach der Methode der kleinsten Quadrate (s. Art. Beobachtung) folgende Werthe für die Coefficienten L:

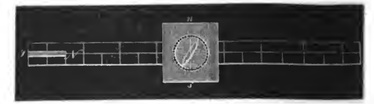
$$\text{tang } v = 0{,}086870\ R^{-3} - 0{,}002185\ R^{-5}$$
$$\text{tang } v' = 0{,}043435\ R^{-3} + 0{,}002449\ R^{-5}$$

Die Vergleichung der nach diesen Formeln berechneten Werthe mit den obigen (beobachteten) führte zu nachstehender Tabelle.

R	v	Unterschied	v'	Unterschied
m				
1,1	1° 57′ 22″,0	+ 2″,8		
1,2	1 29 46,5	— 6,0		
1,3	1 10 13,3	+ 6,0	2° 13′ 50″,4	+ 0″,8
1,4	0 55 58,7	+ 0,2	1 47 24,1	+ 4,5
1,5	0 45 20,9	— 6,6	1 27 28,7	— 9,6
1,6	0 37 15,4	— 3,2	1 12 10,9	— 3,3
1,7	0 30 59,1	— 1,2	1 0 14,9	— 5,0
1,8	0 26 2,9	— 3,4	0 50 48,3	+ 4,2
1,9	0 22 6,6	+ 2,6	0 43 14,0	+ 7,8
2,0	0 18 55,7	+ 5,9	0 37 5,6	+ 10,6
2,1	0 16 19,8	+ 4,9	0 32 3,7	+ 0,9
2,5	0 9 38,6	— 2,5	0 19 2,1	— 10,2
3,0	0 5 33,9	— 0,2	0 11 1,8	— 1,1
3,5	0 3 29,8	— 0,9	0 6 57,1	— 0,2
4,0	0 2 20,5	+ 1,7	0 4 39,6	— 3,7

Die Versuche zeigten, daß, wenn man nicht zu Abständen kleiner als die vierfache Länge der Nadel hinabgeht, zwei Glieder der für lang v angenommenen Reihe vollkommen hinreichend sind. Die Nothwendigkeit der Annahme von $n = 2$ läßt aber keinen Zweifel darüber, daß die Action (Anziehung und Abstoßung) der magnetischen Elemente im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung stehe.

Die obigen Versuche lassen sich nach W. Weber*) auch ohne das Gaußische Magnetometer vermittelst einer gewöhnlichen Boussole, die in ganze Grade eingetheilt ist, anstellen. Als Ablenkungsstab dient ein 1 Decimeter langes, prismatisches Magnetstäbchen, welches nebst der Boussole auf einen 1 — 1,6 Meter langen, in Decimeter getheilten Maßstab gelegt wird. Die Boussole wird auf

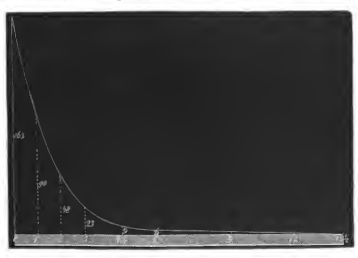


die Mitte des letzteren gestellt, dem man eine horizontale und vorerst zum magnetischen Meridian senkrechte Lage giebt. Das Magnetstäbchen wird dabei parallel mit dem Maßstabe auf den letzteren gelegt und die Ablenkung der Nadel in der Boussole, so wie die Entfernung der Mitte des Stäbchens von ihr genau notirt.

*) Resultate aus den Beobacht. des magn. Vereins. Jahr 1836. S. 63.

Auch hier bestimmt man den Ablenkungswinkel als Mittel aus vier Versuchen auf die bereits oben angegebene Weise. Alsdann legt man den Maßstab in die Richtung des magnetischen Meridians und das Ablenkungsstäbchen rechtwinklig auf denselben. Die Versuche werden wie vorher angestellt und für verschiedene Entfernungen wiederholt. Es kommen dann im Ganzen die obigen Resultate zum Vorschein.

Coulomb hat das Gesetz, nach welchem die Intensität des freien Magnetismus von den Enden eines Magnetstabes gegen die Mitte hin abnimmt, vermittelst der Oscillationen einer 1,5 Centimeter langen Magnetnadel bestimmt. Dieselbe war an einem Coconfaden aufgehängt und wurde dem vertical gehaltenen Magnetstabe genähert (s. Fig. S. 763), nachdem zuvor ihre Schwingungsdauer oder die Anzahl der Oscillationen in der Zeiteinheit unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus bestimmt war. Als Coulomb darauf den Nordpol der Nadel dem Südpol des Stabes näherte, wurden die Schwingungen der ersteren beschleunigt. Diese Beschleunigung fiel aber (bei sonst gleicher Entfernung vom Stabe) um so geringer aus, je näher die Nadel dem Mittelpunkte des Stabes kam, so daß in dem Falle, wo der Nordpol der Nadel der Mitte gerade gegenüber stand, die Anzahl der Schwingungen nicht mehr betrug, als wenn die Nadel frei, d. h. nur unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscillirte. Bei Stäben von mehr als 7 bis 8 Zoll Länge läßt sich das Gesetz der Abnahme des freien Magnetismus von den Enden gegen die Mitte durch eine Curve (magnetische Intensitätscurve) darstellen, deren Abscissen die Entfernungen von den Enden des Stabes und deren Ordinaten die magnetische Intensität in den betreffenden Punkten sind.



Die vorstehende Intensitätscurve bezieht sich auf einen gleichmäßig magnetisirten Stahldraht von 27 Zoll Länge. Diese Curve gilt für beide Hälften des Drahtes. Sie läßt sich nach Biot*) durch die Gleichung $y = A\,(\mu^x - \mu^{2l-x})$ ausdrücken,

*) Traité de physique. Tom. III. p. 70.

wenn y die Intensität des freien Magnetismus in dem Abstande x von dem Ende des Magnets, und 2 l die Länge des letzteren bezeichnet. A und μ sind zwei durch Beobachtung zu bestimmende constante Größen. Versuche, welche Becquerel *) mit sehr dünnen Stahldrähten anstellte, führten zu einer Bestätigung dieses Gesetzes. A. van Rees **) hat der Biot'schen Formel eine etwas andere Gestalt gegeben, indem er den Ursprung der Abscissen nicht an das Ende, sondern der Symmetrie wegen in die Mitte des Stabes verlegt. Man hat dann nur $l - x$ statt x zu setzen, wodurch die obige Gleichung übergeht in

$$y = - A \mu^{l} (\mu^{x} - \mu^{-x}).$$

Coulomb fand, daß für magnetisirte Streifen oder Drähte von verschiedener Länge obige Curve dieselbe bleibt, wenn die Länge der Magnete nur mehr als 8 Zoll beträgt. Hieraus folgte dann weiter, daß bei mehr als 8 Zoll Länge alle Magnete von derselben Gestalt ihre Pole in derselben Entfernung von den Enden haben. Durch Rechnung ergab sich, daß die Pole in einer Entfernung von 18 Linien von den Enden liegen. Diese Resultate setzen voraus, daß die Magnete sehr kleine Dimensionen der Breite und Dicke im Verhältniß gegen die der Länge haben, daß sie in ihrer Ausdehnung von einer regelmäßigen Gestalt und daß sie gleichmäßig magnetisirt sind. Bei kurzen Magneten dieser Art fand Coulomb, daß ihre Pole sich fast genau auf dem Drittheil der halben Länge oder auf $^1/_6$ der ganzen Länge von den Enden aus befinden. Wenn die angegebenen Bedingungen nicht erfüllt sind, so findet man die Pole am bequemsten mittelst einer kleinen Probenadel oder durch ein kurzes Stück weichen Eisendrahtes, das in einer hohlen Glaskugel befindlich ist. Ueber einem Pole stellt sich ein solches Drahtstück senkrecht. Bei den rautenförmigen Nadeln nähern sich die Pole mehr dem Mittelpunkte; bei den pfeilähnlichen Magnetnadeln ist es häufig schwierig, eine ganz gleichmäßige Magnetisirung zu erlangen, und bei breiten oder dicken Platten giebt es nicht selten auch mehrere Pole oder sogenannte Folgepunkte, von denen schon die Rede gewesen ist.

Wenn man die Menge des freien Magnetismus in einem Punkte eines gleichmäßig magnetisirten Stabes mit dem Abstande dieses Punktes von der Mitte (neutralen Zone) multiplicirt, so nennt man das Product das magnetische Moment des betreffenden Punktes. Bedeutet nun μ die Quantität des freien Magnetismus in dem einen Pol und l des letzteren Entfernung von der Mitte, so ist in dem Producte μl die Quantität μ gewissermaßen der gleichwerthige Repräsentant aller magnetischen Intensitäten, welche in den verschiedenen Punkten der einen Hälfte des Magnetstabes frei nach außen wirken. In derselben Weise hat man für die andere Hälfte des Stabes $(-\mu)(-l) = \mu l$. Das Product aus der Quantität μ des in jedem Pole enthaltenen freien Magnetismus in den Abstand 2 l beider Pole, nämlich $2 l \mu = M$, ist das magnetische Moment des ganzen Magnetstabes. Die Entfernung 2 l nennt man aber häufig die Scheidungsweite des freien Magnetismus eines Magnetstabes.

A. van Rees ***) hat aus der Biot'schen Formel für die Intensität des

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXII. p. 113.
**) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 12.
***) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 1 ff.

freien Magnetismus einen Ausdruck abgeleitet für das magnetische Moment der Theilchen eines gleichmäßig magnetisirten Stabes. Er betrachtete zunächst eine Reihe in gerader Linie liegender Magnettheilchen, die alle gleich sind und in gleichen Entfernungen von einander liegen. Die magnetischen Axen aller Theilchen haben die nämliche Richtung, nämlich die der geraden Linie, welche durch die Mittelpunkte der Theilchen hindurchgeht. Für die Beziehung zwischen dem freien Magnetismus y und dem magnetischen Moment z eines Theilchens, das in dem Abstande x von der Mitte der Reihe liegt, fand er die Formel $y = -\frac{dz}{dx}$, von der er zeigt, daß sie auch für einen Magnetstab Geltung habe. y bezeichnet in dieser Formel eigentlich die Quantität des freien Magnetismus, der in der Mitte zwischen zwei benachbarten Theilchen in der Entfernung x von der Mitte der Reihe vorhanden ist. Die Quantität des freien Magnetismus ist also der Differentialquotient des magnetischen Moments als Function der Coordinate x betrachtet. Durch Integration dieser Formel ergiebt sich $z = -\int y\,dx$. Substituirt man in diesem Ausdrucke für y dessen Werth nach der Biot'schen Formel, so erhält man, indem man die Constante $\frac{A\mu^l}{\log \mu}$ durch $-$ b ersetzt, und die Constante der Integration durch a bezeichnet, $z = a - b\,(\mu^x + \mu^{-x})$. Diese Gleichung gehört der bekannten Kettenlinie an, wenn x und z als die Coordinaten einer Curve betrachtet werden. Die drei Constanten a, b und μ müssen für jeden Magneten besonders bestimmt werden. — Messungen, welche A. van Rees*) an Stahlmagneten und durch Vertheilung magnetisirten Eisenstäben anstellte, führten zu dem Resultate, daß, obwohl die Kettenlinie bei Magneten, die höchstens funfzig Mal länger als dick sind, bezüglich der Vertheilung des Magnetismus an solchen Stäben eine in den meisten Fällen genügende Annäherung liefere, die wahre Intensitätscurve, oder, was dasselbe sei, das Gesetz der Vertheilung des Magnetismus im Stahl- und Elektromagneten noch zu finden sei. Die Kettenlinie gewährt aber bei Elektromagneten eine eben so große Annäherung als bei Stahlmagneten, so daß höchst wahrscheinlicher Weise die Vertheilung des Magnetismus in beiden Arten von Magneten das nämliche Gesetz befolgt.

Bezüglich der Vertheilung des Magnetismus in zwei gleichen, mit den ungleichnamigen Polen sich berührenden Magneten bemerkt van Rees**), daß die in der Mitte eines jeden Stabes gelegene neutrale Linie ihre Stelle verändere und sich dem Pole nähere, der mit dem zweiten Magnete in Berührung ist, wovon man sich überzeugen könne, wenn man eine kleine Declinations- oder Inclinationsnadel längs dem Magnete hinführe. Es ist dies eine Folge der Verstärkung, welche der Magnetismus eines jeden Magnets durch den Einfluß des anderen erfährt, und zwar am kräftigsten an der Berührungsstelle, immer schwächer nach dem entfernten Ende hin.

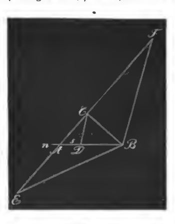
Wenn ein Eisenstab im Sinne der Längenrichtung eines Magnetstabes dem vertheilenden Einflusse des letzteren, etwa von Seiten seines Nordpols, ausgesetzt

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 213.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 222.

ist, so beobachtet man auf dem Eisenstabe eine neutrale Linie, die bei geringer Entfernung dem Ende, welches dem vertheilenden Einflusse zunächst ausgesetzt ist, nahe liegt, bei größerer Entfernung sich mehr der Mitte nähert, und bei einer unendlichen Entfernung oder einer solchen, gegen welche die Länge der Stäbe verschwindend klein ist, gerade in die Mitte fallen würde. Der letztere Fall findet z. B. statt, wenn der Eisenstab in der Richtung der Inclinationsnadel dem Einflusse des Erdmagnetismus ausgesetzt ist.

Wenn man aber einen mit einem Magneten in Berührung gebrachten Eisenstab mittelst einer kleinen Magnetnadel untersucht, so zeigt dieser Stab, wie A. van Rees *) fand, in seiner ganzen Länge denselben freien Magnetismus als der anliegende Magnetpol. — Wir werden hierauf weiter unten wieder zurückkommen.

Die Wirkung eines Magnetstabes auf eine entfernte Magnetnadel ist abhängig von seinem magnetischen Moment, sie ist demselben direct proportional, während sie zugleich, wie wir bereits wissen, im umgekehrten Verhältnisse mit der dritten Potenz der Entfernungen. Gauß hat diesen Satz noch durch eine einfache geometrische Construction allgemein bewiesen **). In A befinde sich der Magnet, und AB sei die Richtung der magnetischen Axe. Die Linie AC = R verbinde einen entfernten Punkt C, wo die Wirkung des Magnets betrachtet werden soll, mit der Mitte des Magnets. Man errichte in C ein Perpendikel auf AC, welches in B die Richtung der magnetischen Axe schneidet. In AB werde der Punkt D so angenommen, daß AD + $\frac{1}{3}$ AB sei, und ziehe CD; so ist CD oder DC die Richtung der magnetischen Kraft in C, je nachdem das magnetische Element in C von entgegengesetzter oder von gleicher Art, wie der freie Magnetismus im Magnet A auf der Seite des spitzen Winkels BAC ist. Die Größe der Kraft ist $= \frac{CD}{AD} \cdot \frac{M}{R^3}$.



Um diesen Satz zu beweisen, stelle man sich im Punkte n den Nordmagnetismus, in s den Südmagnetismus des Magnets A vor. Die Linie ns sei gegen AC unendlich klein und werde vom Punkte A halbirt. Im Punkte C denke man sich die Einheit des Nordmagnetismus; $\pm$ m bezeichne die Menge des Nord- oder Südmagnetismus in den Punkten n und s; α = ns sei ihre Scheidungsweite. Das magnetische Moment M ist dann M = αm.

Wenn man nun die Kraft, welche auf C wirkt, nach CA und CB, welche einen rechten Winkel einschließen, zerlegt, so erhält man für die Einheit des Nordmagnetismus in C erstens die Componenten X nach CA:

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 225 ff.

**) Result. des magn. Ver. 1840. S. 26 ff. und W. Weber: Pogg. Ann. Bd. LV. S. 33.

$$X = -\frac{m}{Cn^2} \cdot \cos ACn + \frac{m}{Cs^2} \cos ACs.$$

Da $nA = As$ gegen AC verschwindet, so ist $\cos ACn = \cos ACs = 1$, und da $ns = \alpha$ und ACB ein rechter Winkel ist, so hat man:

$$Cn = AC + \frac{AC}{AB} \cdot \frac{\alpha}{2}$$

$$Cs = AC - \frac{AC}{AB} \cdot \frac{\alpha}{2}.$$

Substituirt man diese Werthe und vernachlässigt die höheren Potenzen von $\frac{\alpha}{AB}$ so ergiebt sich: $X = \frac{2\,\alpha m}{AB\,.\,AC^2}$.

Die Componenten Y nach AB findet man:

$$Y = \frac{m}{Cn^2} \sin ACn + \frac{m}{Cs^2} \sin ACs,$$

worin $\sin ACn = \sin ACs = \frac{1}{2}\frac{CB}{AB} \cdot \frac{\alpha}{AC}$ und $\frac{1}{2}\left(\frac{1}{Cn^2} + \frac{1}{Cs^2}\right) = \frac{1}{AC^2}$ gesetzt werden kann; folglich: $Y = \frac{CB}{AB} \cdot \frac{\alpha m}{AC^3}$.

Die Kraft, welche auf C wirkt, ergiebt sich hieraus:

$$\sqrt{(X^2 + Y^2)} = \frac{\alpha m}{AB\,.\,AC^3} \sqrt{(4\,AC^2 + BC^2)}.$$

Verlängert man CA bis E, so daß $CA = AE$, so erhält man:

$$BE = \sqrt{(4\,AC^2 + BC^2)}.$$

Zieht man BF parallel mit DC, bis sie in F die verlängerte AC schneidet, so ist $AC : CF = AD : DB = 1 : 2$, folglich $CF = 2\,AC = CE$, woraus die Congruenz der rechtwinkligen Dreiecke BCE und BCF geschlossen wird, oder $BE = BF = 3\,CD$. Fügt man $AB = 3\,AD$ und $\alpha m = M$ hinzu und substituirt diese Werthe, so erhält man die Kraft, welche auf C wirkt $\sqrt{(X^2 + Y^2)} = \frac{CD}{AD} \cdot \frac{M}{AC^3}$.

Dies ist nun der Ausdruck, der zu beweisen war. Die Richtung der so bestimmten Kraft macht mit der Richtung CA der Componente X einen Winkel, dessen Tangente $\frac{Y}{X} = \frac{BC}{2\,AC} = \frac{BC}{CF}$ ist.

Da BCF ein rechter Winkel ist, so hat man $\frac{BC}{CF} = \text{tang}\ BFC = \text{tang}\ DCA = \frac{Y}{X}$, woraus folgt, daß CD die Richtung der Kraft ist.

Einer Magnetnadel, welche um eine Axe (z. B. verticale) drehbar ist, kommt ein bestimmtes Drehungsmoment zu, wenn sie dem Einflusse eines Magnetstabes oder auch des Erdmagnetismus unterworfen ist. Dieses Drehungsmoment

ist abhängig von der Intensität (oder von der bewegenden Kraft) des einwirkenden Magnetismus und von dem magnetischen Moment der Nadel. Ist z. B. mit Rücksicht auf den Erdmagnetismus n s (s. beistehende Fig.) die Axe der Nadel, welche um den Winkel v vom magnetischen Meridian a b abgelenkt ist, so läßt sich die Kraft, womit der Magnetismus der Erde in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt, bestimmen, indem man die erdmagnetische Kraft, welche man der Größe und Richtung nach durch die mit a b parallele Linie n r vorstellen kann, in die auf einander senkrechten Componenten n p und n q zerlegt. Die erstere Componente, welche in der Richtung der Nadel wirkt, bringt keine Veränderung in der Lage der Nadel hervor, während die andere, rechtwinklig auf die Axe der Nadel wirkend, diese letztere zu einer Drehung nach dem magnetischen Meridian hin bestimmt. Es ist nun, wenn man die erdmagnetische Kraft n r durch T bezeichnet, n q = T sin v. Das Drehungsmoment der Nadel ist aber = m T sin v, falls m das magnetische Moment der Nadel ist.



Es sei C (Fig. auf S. 772) eine Magnetnadel, deren Axe den Winkel v mit dem magnetischen Meridian macht, und A C = R stehe senkrecht gegen den magnetischen Meridian. Liegt nun die Axe des Magnets A in der Richtung A C, so bewirkt A, dessen magnetisches Moment = M sei, in C das Drehungsmoment $\frac{2\,M\,m}{R^3}\cos v$, während der Erdmagnetismus T das Drehungsmoment T m sin v auf C ausübt. Zum Gleichgewicht der Nadel wird dann erfordert, daß $\frac{2\,M\,m}{R^3}\cos v = T\,m \sin v$ oder daß $\operatorname{tang} v = \frac{2\,M}{T} \cdot \frac{1}{R^3}$.

Dieser Ausdruck auf der rechten Seite des Gleichheitszeichens ist das erste Glied des nach fallenden Potenzen von R dargestellten Werthes von tang v (S. 765 ff.), und von dieser Reihe muß man Gebrauch machen, wenn die Voraussetzung, die hier gemacht ist, nicht gilt, daß nämlich die Dimensionen der Magnete gegen den Abstand R verschwinden. Der Factor L in der citirten Reihe ist also bei der eben betrachteten Lage beider Magnete zu einander $= \frac{2\,M}{T}$.

Ist ferner C (Fig. auf S. 772) eine Magnetnadel, deren Axe den Winkel v mit dem magnetischen Meridian macht, so bewirkt A in C das Drehungsmoment $\frac{M\,m}{R^3}\cos v$, in sofern A C = R im magnetischen Meridian liegt, und die Axe des Magnets A senkrecht auf dem magnetischen Meridian ist. Das vom Erdmagnetismus herrührende Drehungsmoment der Nadel bleibt m T sin v. Im Falle des Gleichgewichts hat man nun $\frac{M\,m}{R^3}\cos v = T\,m \sin v$ oder tang $v = \frac{M}{T} \cdot \frac{1}{R^3}$.

Auch bei dieser Lage der Magnete zu einander muß man, wenn die obige Voraussetzung nicht statt hat, auf die erwähnte Reihe reflectiren, in der jetzt $L = \frac{M}{T}$ ist.

Das Moment eines Magnets kann gemessen werden, wenn man die Ablenkung einer Nadel bei zwei verschiedenen Entfernungen vom Magnete beobachtet. Die Einrichtung läßt sich dabei so treffen, daß der Magnet immer in der Horizontalebene der Nadel und senkrecht gegen den magnetischen Meridian bleibt. Die Ablenkung der Nadel kann man in jeder Entfernung 4 Mal beobachten, indem der Magnet bald östlich, bald westlich von der Nadel aufgestellt wird, und seinen Nordpol bald nach Ost, bald West kehrt. Bezeichnet man die daraus für die Entfernungen R und R' gefundenen Mittelwerthe der Ablenkungen durch v und v', so läßt sich setzen $\tang v = \frac{L}{R^3} + \frac{L'}{R^5}$ und $\tang v' = \frac{L}{R'^3} + \frac{L'}{R'^5}$. Diese beiden Glieder der Reihe sind hier ausreichend, wenn R und R' gegen die Länge des Magnets und der Nadel sehr groß sind, so daß die Glieder der Reihe, welche die 7. oder höhere Potenzen enthalten, vernachlässigt werden dürfen. Durch Elimination von L' erhält man hieraus $L = \frac{R^5 \tang v - R'^5 \tang v'}{R^2 - R'^2}$, wo v, v', R und R' durch Messung bekannt sind. Das gesuchte magnetische Moment M ergiebt sich dann aus der Gleichung $L = \frac{2M}{T}$, also $M = \frac{1}{2} L T$.

Unter der Einheit des freien Magnetismus versteht man diejenige Quantität desselben, welche auf eine gleiche Menge gleichartigen oder ungleichartigen Magnetismus in der Entfernung 1 eine Abstoßung oder Anziehung ausübt, die der beschleunigenden Kraft 1 auf die Masse 1 aequivalent ist. Diese beschleunigende Kraft 1 ist eine solche, welche der Masse 1 (z. B. einem Milligramme) in der Zeiteinheit die Geschwindigkeit 1 (z. B. von 1 Millimeter) mittheilt. Das Drehungsmoment eines Magnetstabes oder einer Magnetnadel, in Einheiten dieses Grundmaßes ausgedrückt, ist dann nichts anderes als die bewegende Kraft oder der Druck, welcher an einem Hebelsarme von 1 Millimeter Länge thätig den Stab oder die Nadel eben so um ihren Stützpunkt drehen würde, wie dies durch den betreffenden magnetischen Einfluß, z. B. durch den Erdmagnetismus wirklich geschieht.

Wir wissen schon, daß eine Magnetnadel, welche um eine verticale Axe in horizontaler Ebene beweglich ist, unter dem Einflusse des Erdmagnetismus ähnliche Schwingungen wie ein Pendel macht, wenn sie aus ihrer Ruhelage entfernt worden ist. Die Schwingungsdauer eines einfachen Pendels wird nun durch $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ ausgedrückt, wo l die Länge des Pendels und g die Beschleunigung der Schwere ist. Bezeichnet aber K das Trägheitsmoment und M das statische Moment eines zusammengesetzten Pendels, so hat man $l = \frac{K}{M}$ (s. Art. Pendel), und daher $t = \pi \sqrt{\frac{K}{g M}}$. Diese Formel gilt nun auch für die kleine Schwin-

gungsdauer einer Declinationsnadel, nur daß an die Stelle von g die horizontale Intensität des Erdmagnetismus zu setzen ist. Also ist $t = \pi \sqrt{\frac{K}{TM}}$, woraus $MT = \frac{\pi^2 K}{t^2}$ folgt.

Das Trägheitsmoment K eines parallelepipedischen Magnetstabes, der um eine verticale, durch den Mittelpunkt gehende Axe schwingt, ist, wenn sein Gewicht p Milligramme beträgt, und seine Länge und Breite resp. l und b sind, $= \frac{l^2 + b^2}{12} \cdot p$. Dieser Werth wäre also für K in der Formel für t zu substituiren. In anderen Fällen läßt sich das Trägheitsmoment durch den Versuch bestimmen, indem man zunächst die Schwingungsdauer des freischwingenden Magnetstabes ermittelt. Alsdann beschwert man denselben in einem gewissen Abstande von der Drehungsaxe auf beiden Seiten der letzteren mit unmagnetischen Massen, z. B. mit prismatischen Stücken von Messing, deren Trägheitsmoment in Rücksicht auf die Drehungsaxe entweder schon bekannt ist oder leicht durch Rechnung bestimmt werden kann. Das Trägheitsmoment beider Massen sei $= k$. Der Magnetstab wird jetzt langsamer als vorher schwingen, und wenn man abermals die Schwingungsdauer desselben ermittelt hat, so erhält man die beiden Gleichungen $MT = \frac{\pi^2 K}{t^2}$ und $MT = \frac{\pi^2 (K + k)}{t'^2}$, aus welchen das Trägheitsmoment $K = \frac{k t^2}{t'^2 - t^2}$ folgt.

P. W. Häcker *) giebt für die Schwingungsdauer geradliniger Magnetstäbe die Formel $t = c \sqrt[3]{p} \cdot \sqrt[6]{l}$, wo p das Gewicht oder die Masse, l die Länge des Stabes und c eine Constante bedeutet, welche die Schwingungsdauer eines Stabes von der Gewichts- und Längeneinheit vorstellen soll. Diese Formel folgt aus nachstehenden Proportionen, welche Häcker aus seinen Versuchen über die Schwingungsdauer verschiedener Magnetstäbe ableitete. Sind nämlich p, P die Gewichte oder Massen zweier Stäbe, t, T die Schwingungsdauer des einen und des anderen, so ist für Stäbe von gleicher Länge, aber ungleichem Querschnitte innerhalb gewisser Grenzen $\sqrt[3]{p} : \sqrt[3]{P} = t : T$. Und dann bei Stäben von ungleicher Länge l, L, aber von gleichem Querschnitte innerhalb der Grenzen der Beobachtung $\sqrt{l} : \sqrt{L} = t : T$.

Aus diesen beiden Proportionen entsteht die folgende:

$$\sqrt{l} \sqrt[3]{\frac{p}{l}} : \sqrt{L} \sqrt[3]{\frac{P}{L}} = t : T \text{ und hieraus } T = \sqrt[3]{\frac{P}{p}} \cdot \sqrt[6]{\frac{L}{l}} \cdot t.$$

Diese letztere Formel giebt nun durch Einführung der Constante c den obigen Werth für t, in welchem statt der Masse auch das Volumen des Stabes gesetzt

*) Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 336, Bd. LXXII. S. 63, Bd. LXXIV. S. 394.

werden kann. Bezeichnet unter dieser Voraussetzung c die Schwingungsdauer eines Cubus von der Volumeneinheit, und ist ω der Querschnitt und l die Länge des Stabes, so hat man $t = c\sqrt{l}\,.\,\sqrt[3]{\omega}$. Es zeigt sich, daß ein Stab seinen Querschnitt und seine Länge innerhalb gewisser Grenzen verändern kann, ohne daß dadurch seine Schwingungsdauer eine Abänderung erleidet. Um zur Kenntniß dieser Grenzen zu gelangen, stellte Häcker *) noch eine Reihe von Versuchen an. Andere Versuche bezogen sich auf das Verhältniß der horizontalen zur verticalen Schwingungsdauer **). Ein Magnetstab nämlich, der im Verhältniß zu seiner Länge eine merkliche Breite besitzt, kann auf zweierlei Art magnetisirt werden, einmal in gewöhnlicher Weise, wo die Indifferenzlinie die Länge halbirt, und dann transversal, wo die Indifferenzlinie die Breite halbirt. Im ersten Falle schwingt der Magnet in horizontaler Lage, im zweiten muß derselbe, falls er im magnetischen Meridian schwingen soll, in verticaler Richtung schweben. Häcker versteht unter verticaler Schwingungsdauer immer die Schwingungsdauer derjenigen Magnete, welche transversal magnetisirt sind. Es sei nun das Volumen einer Platte, deren Länge größer als ihre Breite ist, V, ihre Länge bei der horizontalen Schwingungsdauer $= L$, ihre Breite, welche bei der verticalen Schwingungsdauer zur Länge wird, $= l$. — $\frac{V}{L}$ sei gleich dem kleineren Querschnitt $= \omega$, $\frac{V}{l}$ gleich dem größeren Querschnitt $= \Omega$. Die horizontale Schwingungsdauer $= T$, die verticale $= t$. Die Gleichung für die horizontale Schwingungsdauer ist dann nach dem Obigen $T = c\sqrt{L}\,.\,\sqrt[3]{\omega}$, während Häcker für die verticale Schwingungsdauer die Formel $t = c\sqrt[6]{L}\,.\,\sqrt[3]{l}\,.\,\sqrt[3]{\omega}$ oder $t = c\sqrt{l}\,.\,\sqrt[6]{\Omega}\,.\,\sqrt[6]{\omega}$ aufstellt. Die Division von T durch t giebt $\frac{T}{t} = \sqrt[3]{\frac{L}{l}}$ oder $\frac{T}{t} = \sqrt[3]{\frac{\Omega}{\omega}}$.

Ist die schwingende Platte ein Quadrat, so fällt die horizontale mit der verticalen Schwingungsdauer zusammen, und diesen Umstand benutzte Häcker, um den Grund, auf dem diese Gleichungen beruhen, und die Aenderung in der Schwingungsdauer genauer einzusehen. Wir müssen in dieser Beziehung auf die Abhandlung selbst verweisen, und führen hier nur noch eine Bemerkung aus derselben an. Wenn man einen Magnetstab von gehärtetem oder ungehärtetem Stahl zu genauen Messungen benutzen will, so muß man sich vorher von seiner unveränderlichen oder bleibenden Kraft überzeugen. Ist der Stab magnetisirt, so lege man an die beiden Polenden Eisenstäbe an, und reiße diese einige Mal ab, wie man es bei Hufeisenmagneten zu thun pflegt. Hiernach läßt man ihn zwei bis drei Stunden ruhig liegen, und untersucht alsdann seine Schwingungsdauer. Hat sich nun dieselbe nach Verlauf von 24 Stunden nicht verändert, so kann man

*) Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 63 ff.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 394 ff.

versichert sein, daß er später an seiner Kraft nichts mehr verliert. Doch ist bei dieser Untersuchung darauf zu sehen, daß kein anderer Magnet in seine Nähe gebracht werde.

Nachträglich sei hier noch einer neuen Methode gedacht, welche mit Vortheil zur Bestimmung der Intensität des Magnetismus an verschiedenen Punkten eines Magnets benutzt werden kann. Dieselbe rührt von H. vom Kolke her, und besteht im Wesentlichen darin *), daß die Intensität an verschiedenen Stellen eines Magnets direct durch die Bestimmung der Kraft ermittelt wird, welche nöthig ist, um ein kleines von einem bestimmten Punkte angezogenes Eisenstück abzuziehen. An einer Wage, an welcher wegen der Nähe des Magnets Nichts von Eisen gearbeitet war, und die bei einer Belastung von 500 $^{\text{Grm.}}$ noch 0,5 $^{\text{Gr.}}$ ausschlug, hing auf der einen Seite eine Schale, auf der anderen ein äquilibrirendes Gewicht, woran durch einen Seidenfaden ein kleines 1,7 $^{\text{Gr.}}$ und 4,5 ^{mm} dickes Eisenstäbchen befestigt war. v. Kolk stellte seine Beobachtungen meist an einem großen Elektromagneten an. Die Wage wurde auf einen Tisch so gestellt, daß, wenn dieselbe im Gleichgewichte war und das (gewöhnlich zugespitzte) Eisenstäbchen den bestimmten Punkt mit seiner Spitze berührte, die Wagschale noch etwa 5 bis 10 ^{mm} von der Tischplatte entfernt war. Wurde nun bei der Erregung des Elektromagneten das Eisenstäbchen festgehalten, so schüttete Kolk auf die Wagschale so lange feinen Bleischrot hinzu, bis das Stäbchen abriß. Im Allgemeinen fand er, daß der Magnetismus an den Kanten stärker ist, als auf den Flächen, und hier um so schwächer wird, je weiter man sich von den Kanten entfernt. Bei schwächerem Magnetismus ist aber das Verhältniß zwischen der Stärke der Mitte und des Randes größer, als bei stärkerem.

Der Magnetismus eines geradlinigen regelmäßig magnetisirten Stahlstabes nimmt von der Mitte nach den Polen hin anfangs langsam und je näher den Polenden immer rascher zu, und die Verschiedenheit der Intensitätscurven ist abhängig von der Stärke des Magnetismus und von dem Verhältniß der Längen- und Breitenausdehnung. Auch hier gilt das Gesetz, daß der Magnetismus an den Kanten stärker ist als auf den Flächen. Das Maximum des Magnetismus ist an den Ecken der Enden und auf den schmalen Seiten stärker als auf den breiteren, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen. Die anziehende Wirkung ist um so größer, je mehr Punkte des Magnets auf das abzuziehende Eisenstäbchen wirken können, und je näher diese demselben sind.

Beiläufig sei hier auch noch erwähnt, daß das Magnetisiren von Stahlstäben nach Kolk's Erfahrungen am bequemsten und schnellsten bis zum Maximum mit Hülfe eines starken Elektromagneten geschieht, dessen Pole nach oben gerichtet sind. Auf die letzteren legt man glatt geschliffene Halbanker in einer solchen Entfernung von einander auf, daß die Polenden des zu magnetisirenden Stahlstabes gerade auf die einander zugekehrten Enden der aufgelegten Halbanker gelegt werden können. Hierauf magnetisirt man den Elektromagneten durch einen starken galvanischen Strom und setzt den zu magnetisirenden Stab durch einige Schläge in eine vibrirende Bewegung. Nach kurzer Zeit hat der Stab so viel Magnetismus angenommen, als Kolk ihm weder durch Streichen mit einem anderen Stahlmagneten noch durch die Elias'sche Spirale ertheilen konnte.

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 321.

Daß die Wärme Einfluß auf den Magnetismus hat, ist bereits erwähnt worden. Dieser Einfluß macht sich, wie wir sehen werden, in verschiedenen Beziehungen geltend. — Gilbert *) schon beobachtete, daß ein künstlicher Magnet bis zum Weißglühen erhitzt, keine magnetische Polarität mehr verräth. Boyle bemerkte dasselbe bei natürlichen Magneten, und dann fanden auch Servington-Savery **) und Lemery ***) den schwächenden Einfluß der Wärme auf den Magnetismus. Gilbert ****) nahm auch wahr, daß die Magnetnadel von einem stark glühenden Eisen nicht im geringsten afficirt werde, daß aber die Anziehung sich alsbald wieder einstelle, wenn es nur etwas vom Weißglühen nachgelassen habe. Dies bestätigten Lieutaud *****), Brugmans und Cavallo †).

Barlow ††) beobachtete einige bemerkenswerthe Ungleichheiten bei verschiedenen Eisen- und Stahlsorten bezüglich der Empfänglichkeit für den Magnetismus bei verschiedenen Temperaturen, indem er Stäbe in der Richtung der magnetischen Neigung befestigte und die Ablenkung einer in bestimmter Entfernung aufgestellten Compaßnadel beobachtete. Die Stäbe waren also dem magnetisirenden Einflusse des Erdmagnetismus ausgesetzt, und nahmen dadurch selbst Magnetismus an, der auf die Magnetnadel wirkte. Das Schmiedeeisen zeigte sich nun bei gewöhnlicher Temperatur am stärksten magnetisch; nach ihm kamen in abnehmendem Grade ungehärteter Gußstahl und Stahl, gehärteter Gußstahl und Stahl, und Gußeisen. Als aber Stäbe aus diesen Metallen erhitzt wurden, trat ein anderes Verhalten ein, und gerade das Gußeisen verrieth in der Temperatur zwischen dem Roth- und Weißglühen den stärksten Magnetismus. Ein Eisenstab, bis zum Weißglühen erhitzt, war dem Anschein nach ganz indifferent gegen den magnetisirenden Einfluß. Dieser machte sich jedoch sofort geltend, als der Stab erkaltete, und zwar am stärksten bei der Rothgluth desselben. Dies Verhalten drückt man so aus, daß man sagt: die Coërcitivkraft des Eisens sei in der Weißglühhitze am stärksten und während des Rothglühens schwächer als sonst, oder was dasselbe ist, die Empfänglichkeit des Eisens für den Magnetismus ist bei jener Temperatur am geringsten, bei dieser am größten. Versuche von J. Seebeck †††) bestätigten, daß Eisenstäbe nach dem Glühen empfänglicher für den Erdmagnetismus sind, als vor demselben. So wurde die anziehende Kraft eines kalten Stabes auf die Magnetnadel durch das Glühen von 13° bis auf 42° gesteigert. Und kalte Eisenstangen erhalten auch, selbst wenn sie mehrere Tage vertical gestellt werden, nie die Stärke des Magnetismus und nie so feste Pole, wie die glühenden und in dieser Stellung erkaltenden Stangen in sehr kurzer Zeit gewinnen.

*) Fiat examen in ignibus, immoderatis naturae tyrannis. L. III. c. 3.

**) Philos. Trans. 1730. No. 414. p. 314.

***) Mém. de l'Acad de Paris 1706. p. 131.

****) De magnete. p. 69.

*****) Vinc. Leutaudi soc. Jes. Magnetologia. Lugd. 1668. 4. L. II. c. 4. p. 374.

†) Philos. Versuche über die magnetische Materie, deutsch von Eschenbach. S. 13. Cavallo: Abhandl. vom Magnet. S. 191.

††) Essay on magnetic attraction. 2. Edit.; Encyclop. Metropolit. Art. Magnetism. p. 737 ff.; Philos. Transact. f. 1821. p. 1.

†††) Abhandl. der physik. Classe der Akad. der Wissensch. in Berlin. 1827. S. 129. Pogg. Ann. Bd. X. S. 47.

Einige spätere Beobachtungen Ritchie's *) führten im Wesentlichen zu denselben Resultaten.

Während die Empfänglichkeit des Eisens für den Magnetismus durch Erhöhung der Temperatur gesteigert wird, nimmt umgekehrt die Kraft selbstständiger Magnete durch die Erwärmung der letzteren ab, und zwar nicht erst dann, wenn sie vollständig ausgeglüht werden, sondern schon bei geringen Graden der Erwärmung. In dieser Beziehung stellte zuerst Canton **) Versuche an, welche durch Hällström ***) bestätigt wurden. Saussure ****) gab ein Werkzeug an, welches den schwächenden Einfluß der Wärme auf die magnetische Anziehung anschaulich machte. Dasselbe war ein Pendel, an dessen unterem Ende eine Eisenkugel befestigt war, welche von einem Magneten in bestimmten Entfernungen angezogen und dadurch aus der verticalen Lage gebracht wurde. Das Verhalten des Stahles in hohen Temperaturen wurde von Coulomb untersucht, welcher auch fand, daß der harte Stahl durch die gleiche Erwärmung viel weniger von seiner Kraft verliert als der weiche. Versuche von Hansteen *****) hatten die Bestimmung des Härtegrades zum Zwecke, bei welchem Stahl die meiste Empfänglichkeit für den Magnetismus und die größte Fähigkeit zu seiner Festhaltung besitzt. Diese Versuche führten jedoch zu keinen bestimmten Resultaten. Von Christie †) angestellte Versuche bestätigten im Allgemeinen, daß Kälte die Intensität des Magnetismus vermehrt, Wärme sie vermindert. Nach ihm ist die Wirkung der Wärme eine plötzliche, woraus er schließt, daß die magnetische Kraft sich vorzugsweise an der Oberfläche befinde. Bei einer Temperatur über 30° R. wurde ein Theil der magnetischen Kraft bleibend zerstört. Kupffer ††) wendete zur Bestimmung des Einflusses der Wärme auf den Magnetismus die Methode der Schwingungen an. Eine cylindrische Nadel von Gußstahl ruhte in einem kleinen messingenen Ringe, der an Seidenfäden aufgehängt war, und unterhalb dieser Nadel befand sich ein frisch magnetisirter Stahlstab, der in einem kupfernen Troge in Wasser versenkt war, welches bis auf 80° R. erhitzt wurde. Die Nadel machte unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus 300 Schwingungen in 742 Secunden bei 13° R., über dem Magnetstabe aber bei derselben Temperatur in 429 Secunden. Die Dauer der Oscillationen hielt mit den Graden der Erwärmung gleichen Schritt, so daß beispielsweise die Schwingungszeit von 10° bis 45° Wärme um eben so viele Secunden zunahm, wie von 45° bis 80°. Innerhalb dieser Grenzen ist die Zunahme der Schwingungszeiten der Abnahme der magnetischen Kraft ziemlich genau proportional, woraus mit einiger Sicherheit das Gesetz folgt, daß die Abnahme der magnetischen Intensität durch die Wärme mit der Zunahme der letzteren im einfachen Verhältnisse steht. — Die Nadel kam aber beim Erkalten des Stabes nicht wieder auf die frühere Schwingungszeit zurück, und dies ist eine Folge davon, daß durch die Erwärmung ein bleibender Verlust an Magnetismus herbei-

*) Pogg. Ann. Bd. XIV. S. 150.
**) Phil. Transact. f. 1759. Vol. LI. p. 398.
***) Gilbert's Ann. Bd. XIX. S. 282.
****) Voy. dans les Alpes. T. I. p. 378, T. IV. p. 313.
*****) Pogg. Ann. Bd. III. S. 236.
†) Phil. Transact. f. 1825. pt. I. Pogg. Ann. Bd. VI. S. 239.
††) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXX. p. 113

geführt wird. — Ein späterer Versuch Kupffer's zeigte *), daß der Verlust an Magnetismus, welchen die Wärme herbeiführt, nicht gleichförmig in der ganzen Länge eines Stabes stattfindet. Erwärmt man aber nur die eine Hälfte eines Magnets, so entfernt sich der Indifferenzpunkt oder die neutrale Zone vom erwärmten Ende und rückt dem kälteren näher.

Rieß und Moser unterwarfen die bisher bekannten Versuche einer neuen Prüfung, wobei sie sich gleichfalls der Methode der Schwingungen, unter Berücksichtigung besonderer Vorsichtsmaßregeln, bedienten **). Auch sie fanden eine zwiefache Wirkung der Wärme auf den Magnetismus, eine bleibende und eine vorübergehende. Bezüglich der ersteren wurde eine weiche Stahlnadel wiederholt in siedendes Wasser getaucht und nach der Abkühlung jedesmal auf die Anzahl ihrer Schwingungen untersucht. Die magnetische Kraft zeigte sich nach jedem Eintauchen schwächer, auch wenn die Nadel keine Veränderung in ihrer Masse durch Oxydation oder auf andere Weise erlitten hatte. Die Art des Erhitzens oder des Erkaltens nach der Erhitzung war von keinem bemerkbaren Einfluß auf das Resultat. Die Schwächung des Magnetismus durch fortgesetztes Eintauchen der Nadel in siedendes Wasser wurde aber immer geringer, so daß endlich ferneres Eintauchen keine Wirkung mehr hatte. Nadeln aus hartem Stahl erfahren eine viel größere Verminderung ihres Magnetismus, als die weichen, und haben nach dem vollständigen Erkalten eine stärkere Kraft als während desselben. Werden sie wiederholt magnetisirt und wieder erhitzt, so wird ihr Kraftverlust immer geringer und sinkt zuletzt zu einer verschwindenden Größe herab.

Weber ***) beobachtete endlich die Variationen der Ablenkung, welche ein den Temperaturveränderungen ausgesetzter Magnetstab an einem anderen beweglich aufgehängten hervorbringt. Zu diesen Beobachtungen ließ sich das von Gauß construirte Magnetometer (s. d. Art.) zweckmäßig benutzen. Nach Weber's Beobachtungen sind nun die vom Wärmeeinfluß herrührenden Variationen des Stabmagnetismus bei steigender Temperatur einem anderen Gesetze unterworfen als bei sinkender. Dieselben hängen auch von der Intensität des Magnetismus ab, und sind bei starkem Magnetismus weit geringer, als bei schwachem; sie treten nicht augenblicklich in vollem Maße ein, sondern es dauert die Wirkung einer Temperaturveränderung noch fort, wenn schon eine constante Temperatur vorhanden ist.

Bezeichnet man durch J und J' die Intensitäten des Magnetismus bei den Temperaturen t^0 und t'^0, und durch d den Durchmesser einer Nadel in Pariser Linien, so kann man die vorübergehende Wirkung der Wärme für cylindrische, 2 Zoll lange Stahlnadeln nach der Formel $J' = J\,(1 - 0{,}000461\,(t' - t)\,d$ berechnen. Für Nadeln von 34 Linien und etwas darüber hat man in ähnlicher Weise die Formel $J' = J\,(1 - 0{,}000324)\,(t' - t)\,d$.

Pouillet ****) setzt die Temperaturgrenze, bei welcher das Eisen seine magnetische Anziehung verliert, in die Kirschrothhitze, für Nickel bei 350° C., für Chrom unterhalb der Rothgluth, und für Mangan bei — 15 bis 20°. Nach

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXVI. p. 65. Pogg. Ann. Bd. XII. S. 134.
**) Pogg. Ann. Bd. XVII. S. 403.
***) Resultate aus den Beobachtungen des magn. Vereins im J. 1837. S. 38.
****) Elémens de Phys. 3me éd. T. II. p. 381.

Faraday *), der mit reinen Metallen operirte, verliert das Eisen seine magnetische Eigenschaft beim Hellrothglühen, und verhält sich hier wie andere Metalle. Nickel verliert seinen Magnetismus bei etwa 340° C., und zwar sehr plötzlich. Stahlmagnete verlieren ihre Polarität ungefähr bei 330° C. und verhalten sich dann wie Eisen bis zum Hellrothglühen. Natürliche Magnete verlieren aber ihre Polarität erst nahe unter dem Punkte des sichtbaren Glühens, und die Fähigkeit, sich wie Eisen gegen einen magnetisirenden Einfluß zu verhalten, erst bei starkem Hellrothglühen. Indessen hat Faraday später durch Anwendung sehr starker Magnete, wie sie durch den elektrischen Strom erhalten werden können, gefunden, daß das Eisen und überhaupt alle magnetischen Metalle und deren Verbindungen bis zu einem gewissen Grade bei jeder Temperatur die Fähigkeit, durch Vertheilung magnetisch zu werden, behalten **).

Wie die Wärme, so haben auch mechanische Wirkungen Einfluß auf den Magnetismus in entgegengesetzten Beziehungen. So haben wir schon erwähnt, daß das Magnetisiren des Eisens durch eine Erschütterung des letzteren begünstigt wird, während umgekehrt der Magnetismus selbstständiger Magnete dadurch geschwächt werden kann. Höchst wahrscheinlich kommt dies daher, daß die Theilchen des Eisens beim Magnetisiren ihre gewöhnliche Gleichgewichtslage verlassen und auf gewisse Weise in Bewegung gerathen. Für eine solche Bewegung sprechen auch folgende Erscheinungen.

Im Art. Galvanismus (Bd. III. S. 327 ff.) war die Rede von gewissen Tönen, welche durch continuirliche und discontinuirliche elektrische Ströme in verschiedenen Metalldrähten unter Umständen hervorgebracht werden können. Und im Art. Elektromagnetismus haben wir die Thatsache hervorgehoben, daß ein Eisenstab im Moment seiner Magnetisirung durch den galvanischen Strom einen eigenthümlichen Ton giebt. Derselbe wurde von Page ***) zuerst bemerkt, und diese Thatsache dann durch Delezenne ****) bestätigt. Weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand hat Wertheim angestellt, der in seiner Abhandlung auch einige literarische Nachweisungen bezüglich anderer hierher gehöriger Versuche giebt. Ein Eisenstab oder ein ausgespannter Eisendraht, der sich in der Axe eines von einem elektrischen Strome durchflossenen Schraubendrahtes befindet, entwickelt nach Marrian *****) einen Ton, der identisch ist mit dem, welchen man erhält, wenn man an den Stab, an einem seiner Enden, in der Richtung seiner Axe schlägt, wogegen ein Schlag von der Seite her nichts Aehnliches bewirkt. Matteucci †) wiederholte diese Versuche. De la Rive ††) und Beatson †††) fanden, jeder für sich, daß der direct durch einen Eisendraht gehende Strom ebenfalls einen Ton in demselben erzeugt. Und Guille-

*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. XLVI. p. 177. Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 423.

**) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 25. 58.

***) Silliman, American. Journ. 1837. July (Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 411).

****) Bibliothèque univ. Ser. nouv. T. XVI.

*****) L'Instit. No. 576. Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 530.

†) L'Instit. No. 609.

††) Compt. rend. de l'Acad. 28. Avr. 1845 (T. XX. p. 1287). Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 637.

†††) Electrical Magazine. April 1845.

min *) hat beobachtet, daß ein weicher Eisenstab, der von einem Schraubendraht umgeben, an einem seiner Enden in horizontaler Lage befestigt und am anderen mit einem unbedeutenden Gewicht beschwert ist, sich im Moment, wo man einen Strom durch den Schraubendraht leitet, sichtbar gerade richtet. De la Rive zeigte aber ferner, daß der Uebergang des elektrischen Stromes, selbst in starren Substanzen, die Anordnung der Theilchen modificirt, ein Satz, den auch anderweitige Beobachtungen gelehrt haben. Die Wirkung des Magnetismus, unter welcher Form sie auch ausgeübt werden möge, modificirt nach De la Rive ebenfalls die Constitution aller Körper, und diese Modification dauert so lange als die sie erzeugende Ursache, und verschwindet auch mit ihr. Alle Leiter lassen, wenn sie dem Einflusse eines starken Elektromagneten ausgesetzt sind, im Moment des Durchganges eines unterbrochenen elektrischen Stromes einen sehr deutlichen Ton hören, analog dem des gezahnten Rades von Savart. Der Einfluß des Magnetismus auf alle leitenden Körper scheint darin zu bestehen, daß er ihnen, so lange er dauert, eine analoge Constitution einprägt, wie die, welche das Eisen von Natur besitzt; denn er entwickelt in ihnen die Eigenschaft, beim Durchgange von discontinuirlichen Strömen Töne zu geben, die identisch sind mit denen, welche Eisen und andere Metalle ohne Hülfe der Wirkung eines Magnets geben **).

Wertheim ***) hatte nun schon früher nachzuweisen gesucht, daß die Magnetisirung von einer sehr kleinen Verringerung des Elasticitätscoefficienten des Eisens begleitet ist, die bei Unterbrechung des magnetisirenden Stromes nur theilweise verschwindet, und daß dieser Effect sich nicht augenblicklich äußert, sondern erst nach fortgesetzter Einwirkung des Stromes. Die Resultate seiner weiteren Versuche sind nun folgende ****). Ein Schraubendraht, durch welchen ein elektrischer Strom fließt, übt auf eine in demselben befindliche Eisenmasse eine mechanische Anziehung aus, die identisch ist mit der, welche nach Arago's Entdeckung ein Leitungsdraht auf Eisenfeile ausübt. Diese Anziehung läßt sich betrachten als die Resultante zweier Kräfte, einer longitudinalen und einer transversalen. Die Anziehung ist proportional der Stromstärke und der Eisenmasse. Die longitudinale Componente kann, je nach der Lage des Schraubendrahtes, den Eisenstab verlängern oder verkürzen. Die transversalen Componenten, deren mechanisches Aequivalent sich leicht in Gewichten ausdrücken läßt, sobald das Eisen eine excentrische Lage hat, heben sich gegenseitig auf, wenn das Eisen in der Mitte des Schraubendrahtes liegt. — Der durchgeleitete Strom erzeugt in dem eisernen Leiter, den er durchläuft, einen plötzlichen Stoß. Zwischen der Wirkung des Stromes und derjenigen einer im gleichen Sinne wirkenden mechanischen Kraft herrscht eine vollständige Analogie. — Alle deutlichen Töne, die man in Stäben, Drähten oder Platten von Eisen oder Stahl, entweder mittelst eines einzigen äußeren oder durchgeleiteten Stromes oder mittelst irgend einer Combination dieser

*) Compt. rend. 9. Feb. 1846. (T. XXII. p. 264.)

**) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XIX. p. 377. Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 270.

***) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XII. p. 610. Pogg. Ann. Ergänzungsband II. S. 99.

****) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XXIII. p. 302. Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 43.

beiden Arten von Strömen erregen kann, finden ihre Erklärung in den vorher aufgestellten Sätzen. Am Schlusse seiner Abhandlung erhebt Wertheim unter anderen noch die Frage, ob eine Eisenmasse, unabhängig von der mechanischen Wirkung des Schraubendrahtes, durch ihre bloße Magnetisirung eine Verlängerung erleide.

Eine bedeutende Erweiterung erhielt die Lehre vom Magnetismus im Jahre 1845, wo Faraday *) durch Anwendung sehr starker Magnete, die ihm zu Gebote standen, die Wahrnehmung machte, daß alle Körper, starre und tropfbarflüssige, in bestimmter Weise vom Magnetismus afficirt werden. — Coulomb **) hatte schon 1802 beobachtet, daß der Magnetismus auf eine Menge von Körpern Wirksamkeit äußert. Derselbe gab den verschiedenartigsten Körpern die Gestalt kleiner Cylinder oder Nadeln, die er an feinen Coconfäden aufhing und nach einander zwischen die entgegengesetzten Pole zweier starker Magnetstäbe brachte, welche in derselben geraden Linie lagen. Die kleinen Cylinder stellten sich in die Richtung der beiden Stäbe und kehrten in diese Richtung nach einer Reihe von Oscillationen zurück, wenn man sie aus derselben herausbrachte. Coulomb leitet diese Erscheinung aus beigemengten Eisentheilchen ab, und in den meisten Fällen mag es sich wirklich so verhalten haben. Biot ***) bemerkt in dieser Beziehung, daß unter allen bekannten Mitteln, das Dasein von Eisen in Kunsterzeugnissen und Mineralien zu entdecken, die Methode der Oscillation das empfindlichste und einfachste sei. Man brauche nur Nadeln aus den zu prüfenden Substanzen zu bilden, sie zwischen zwei starken Magneten oscilliren zu lassen und ihre Oscillationen mit denen einer Nadel zu vergleichen, welche aus einem bekannten Gemisch von Eisen und einer anderen nicht magnetischen Substanz verfertigt ist. — Eine neue Bedeutung gewannen diese Versuche durch Seebeck ****) und Becquerel †). Verschiedene Metalle, und selbst Legirungen solcher Metalle mit verschiedenen Mengen von Eisen oder auch Nickel nahmen durch den Einfluß eines oder zweier Magnetstäbe eine von der gewöhnlichen (magnetischen) Stellung abweichende Lage an, so daß sie nach Seebeck nicht sowohl longitudinal (d. h. in der Richtung der Längenaxe), als vielmehr transversal magnetisirt erschienen. Becquerel brachte eine Nadel von weichem Holz, welche 4 Centimeter lang war und 2 Millimeter im Durchmesser hatte, über den Zwischenraum der entgegengesetzten Pole zweier Magnetstäbe, welcher 3 bis 4 Millimeter betrug. Befand sich der Aufhängepunkt so nahe als möglich an den Stäben, so stellte sich die Nadel senkrecht auf die Linie der Pole, anstatt sich in die Richtung derselben zu stellen, wie Coulomb beobachtet hatte, wenn sich die Enden der Stäbe in einer gewissen Entfernung von einander befanden. Entfernte man aber nach und nach die Enden, so stellte sich die Nadel allmälig in die Richtung der Pole. Die durch einen starken Magnetstab hervorgebrachten Wirkungen an schwach magnetischen

*) Phil. Transact. f. 1846. pt. I. Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 289, Bd. LXX. S. 32.

**) Mém. de l'Institut. 1812. Gilbert's Ann. Bd. LXIV. S. 393.

***) Traité de Physiq. T. III. p. 117. Gilbert's Ann. Bd. LXIII. S. 104.

****) Pogg. Ann. Bd. X. S. 203.

†) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXVI. p. 337. Pogg. Ann. Bd. X. S. 622.

oder gewöhnlich für unmagnetisch gehaltenen Körpern unterscheiden sich also wesentlich von denen, welche an Stahl oder Eisen auftreten. Auch Becquerel suchte diese Erscheinungen auf den Unterschied der longitudinalen und transversalen Magnetisirung zurückzuführen. Während bei Stahl und Eisen die Vertheilung des Magnetismus stets in der Längenrichtung stattfindet, soll die Magnetisirung bei schwach magnetischen und anderen Körpern in einem Sinne geschehen, welcher von der Entfernung des Körpers von den Polen des Magnets abhängt, so daß die Vertheilung des Magnetismus sich zugleich mit der Richtung verändere, welche der Magnet dem Körper, gemäß seiner Wirkung auf ihn, gebe.

Aehnliche Erscheinungen hatte Muncke *) schon früher an einem Messingdrahte wahrgenommen. Noch vor Coulomb aber hatte Brugmanns **) eine große Anzahl von Substanzen aufgeführt, die unter gewissen Umständen Magnetismus verrathen, so namentlich fast alle Substanzen, denen etwas Eisen beigemischt ist. Brugmanns brachte die zu prüfenden Stoffe meist auf reines Quecksilber oder er ließ sie in einem Schiffchen auf Wasser schwimmen und hielt dann einen mehr oder weniger starken Magnetstab entgegen. Von demselben wurde denn auch beobachtet, daß Wismuth von den Polen eines starken Magnets abgestoßen wird, was nachher auch von Becquerel nicht allein am Wismuth, sondern auch am Antimon bemerkt wurde ***). Durch Faraday wurde es endlich zur Gewißheit gebracht, daß alle Körper von starken Magneten mehr oder weniger afficirt werden, und zwar auf zweierlei Weise. Die einen Körper werden nämlich wie Eisen von den beiden Polen eines Magnets angezogen; und diese Körper können als magnetische im gewöhnlichen Sinne betrachtet werden. Die anderen werden dagegen von beiden Polen eines Magnets abgestoßen, wie dies unter den Metallen namentlich beim Wismuth der Fall ist. Solche Körper nennt man diamagnetische, im Gegensatze zu den gewöhnlichen magnetischen, die man wohl auch paramagnetische Körper nennt. Unter den Metallen erscheinen außer Eisen, Nickel, Kobalt, Chrom und Mangan noch magnetisch Titan, Platin, Osmium, Cerium, Palladium, Silicium, Aluminium ****) und Beryllium.

Man habe nun einen starken Elektromagneten in Hufeisenform, dessen Schenkel vertical aufwärts gestellt seien (s. umstehende Figur). Giebt man dann verschiedenartigen Körpern die Gestalt kleiner Cylinder, so werden diese, an Coconfäden frei beweglich zwischen den Magnetpolen aufgehängt, zwischen den letzteren eine bestimmte Stellung einnehmen, je nachdem sie von denselben angezogen oder abgestoßen werden. So wird ein Stäbchen aus Eisen sich längs der Verbindungslinie beider Pole, ein Stäbchen aus Wismuth dagegen sich senkrecht

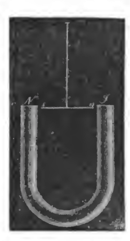
*) Pogg. Ann. Bd. VI. S. 361.

**) Magnetismus seu de affinitatibus magneticis observationes magneticae. 1778. Aus d. Lat. von Eschenbach.

***) Vergl. auch Le Baillif über die Abstoßung eines Magnets durch Wismuth und Antimon: Bulletin universel. 1827. Vol. VII. p. 371, Vol. VIII. p. 87. 91. 94. Pogg. Ann. Bd. X. S. 507. Und Saigny, über den Magnetismus gewisser natürlicher Verbindungen von Eisen, und über die wechselseitige Abstoßung der Körper im Allgemeinen: Bullet. univ. 1828. Vol. IX. p. 89. 167. 239.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 618 ff.

gegen diese Linie stellen. Jene Stellung nennt man der Kürze wegen die axiale, diese die äquatoriale Stellung. Die magnetischen Körper stellen sich also unter solchen Umständen axial, die diamagnetischen äquatorial. — Eisensalze erscheinen magnetisch. So wurde Eisenvitriol in klaren Krystallen angezogen und axial gestellt, wie auch jede Verbindung, die Eisen als Basis enthält. Tropfbare Flüssigkeiten kann man in cylindrische Glasröhrchen einschließen und dann in derselben Weise auf ihre magnetische oder diamagnetische Eigenschaft zwischen den Magnetpolen untersuchen. Grünes Bouteillenglas ist wegen des darin enthaltenen Eisens verhältnißmäßig sehr magnetisch, und kann deshalb nicht wohl als Röhren zum Einschluß anderer Substanzen angewendet werden. Auch Kronglas ist magnetisch, nicht aber Flintglas, das sich äquatorial stellt. Füllt man nun eine dünne unmagnetische Glasröhre mit einer magnetischen Flüssigkeit, z. B. mit einer Lösung von Eisenvitriol in Wasser, so stellt sie sich zwischen den Magnetpolen axial, mit reinem Wasser gefüllt aber äquatorial. Es kann aber auch, wenn magnetische mit diamagnetischen Substanzen gemischt sind, je nach dem Mischungsverhältnisse die Anziehung oder Abstoßung vorherrschen, und demgemäß wohl auch eine solche Mischung indifferent erscheinen, wie man erkennt, wenn man Glasröhrchen mit einer mehr oder weniger concentrirten Lösung von Eisenvitriol in Wasser füllt. Besondere Erscheinungen werden bewirkt, wenn ein magnetischer oder diamagnetischer Körper sich in einem gleich- oder ungleichbeschaffenen Medium befindet. So stellt sich ein magnetischer Körper in einer stärker magnetischen Flüssigkeit äquatorial, in einer schwächer magnetischen axial, während er in einer gleich stark magnetischen indifferent erscheint. Ein diamagnetischer Körper stellt sich aber, umgeben von einem magnetischen oder diamagnetischen Medium, äquatorial.



Der Diamagnetismus verschiedener Substanzen, wie des Wismuths, Antimons, Phosphors, Kupfers, Silbers, Glases, Elfenbeins 2c. kann auch schon an kleineren Elektromagneten beobachtet werden. Auf die Endflächen des Hufeisens legt man gewöhnlich Halbanker aus Eisen, welche parallelopipedisch gestaltet sind und eine dem Durchmesser der Schenkel gleiche Breite haben.

Die Enden dieser Halbanker bilden stumpfe Kegel, welche in größerer oder geringerer Entfernung einander horizontal gegenüber gestellt werden können.

Poggendorff gebrauchte zur Darstellung vieler dieser Erscheinungen einen Elektromagneten, der aus einem 20 Millimeter dicken und 350 Millimeter langen, hufeisenförmig gebogenen Eisenstab bestand, dessen Schenkel 50 Millimeter aus einander standen, und mit vier Pfund Kupferdraht von 1,8 Millim. Dicke auf aufgeschlitzten Messinghülsen zweckmäßig umwickelt waren.

Plücker *) fand, daß jeder aus magnetischen und diamagnetischen Substanzen in solchem Verhältnisse gemischte Körper, daß weder Magnetismus noch

*) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 413. Vergl. auch Bd. LXXII. S. 343.

Diamagnetismus stark vorherrscht, zwischen den beiden Magnetpolen beweglich aufgehängt, sich bei größerer Polnähe diamagnetisch, bei geringerer magnetisch verhält. Und später zeigte sich, daß dieselbe Umkehrung von Diamagnetismus in Magnetismus erfolgt, wenn man, ohne daß die Entfernung der Pole sich ändert, den Elektromagnetismus einmal durch eine geringere, das andere Mal durch eine größere Anzahl von galvanischen Elementen erregt. So stellte sich ein Stückchen Holzkohle bei größerer Nähe der Pole äquatorial, bei größerer Entfernung derselben aber axial, und so konnte auch durch Zunahme der Kraft der Magnetpole, bei unveränderter Entfernung der letzteren, der Magnetismus der Holzkohle in Diamagnetismus verwandelt werden. Plücker sprach diese Erscheinungen in dem Gesetze aus, daß die magnetische Anziehung mit der Entfernung langsamer abnimmt, als die diamagnetische Abstoßung, und dies fand später seine nähere Erklärung darin, daß der Magnetismus bei fortgesetzter Steigerung des magnetisirenden Einflusses sich einer bestimmten Grenze nähert, während der Diamagnetismus mehr ins Unbestimmte der Kraft, welche auf den diamagnetischen Körper einwirkt, proportional wächst. Deshalb kann bei Annäherung jener Körper an die Magnetpole der Diamagnetismus fortwährend wachsen und die magnetische Wirkung übertreffen, diese aber auch bei größerer Entfernung der Pole wieder überwiegend werden. — Hieran dürften sich einige Versuche von Oersted *) schließen, nach denen gewisse Körper durch die Art und Weise ihrer Aufhängung, nämlich zwischen oder über oder unter den Polflächen des Magnets aus der axialen Stellung in die äquatoriale übergeführt werden können. So nahmen Titan, Platin, Iridium, Palladium zwischen den beiden Polarflächen des Elektromagnets aufgehängt die axiale Stellung an, welche aber nach Oersted, wenn man dieselben über die oberen Ränder der Polarflächen steigen oder unter die unteren hinabgehen ließ, in die äquatoriale Lage überging. Dieselbe Eigenschaft fand Oersted auch bei einer aus Zink, Wismuth und Zinn bestehenden Legirung, bei Messing, Holzkohle, Coaks, Obsidian, Spatheisenstein, Berlinerblau und Eisenlösungen, nicht aber beim Eisen und Nickel, und wahrscheinlich auch nicht beim Kobalt. Oersted spricht hiernach von einer abnehmenden magnetischen Progression, welche die eigentlich magnetischen Körper, die diamagnetischen und unter diesen (je nach den Umständen) anziehbare und abstoßbare Körper umfaßt. Durch Erhöhung der Temperatur gingen einige anziehende diamagnetische Körper in abstoßende über. Der einzige Körper, der dies in hohem Grade zeigte, war das Messing.

Zur Vergleichung der Intensität des Magnetismus verschiedener Substanzen brachte Plücker **) die letzteren in denselben Raum, nämlich in ein durch einen Deckel abgeschlossenes Uhrglas. Es ist dann bei constanter Stromstärke die Kraft, mit welcher diese Substanzen von dem Elektromagnet angezogen werden, das relative Maß für ihren Magnetismus. Dividirt man dasselbe durch das Gewicht der Substanzen, so ergeben sich Zahlen, welche die relativen Intensitäten des Magnetismus dieser Substanzen bei gleichem Gewichte darstellen. Um aber die Stärke der Anziehung zu bestimmen, brachte Plücker das Uhrglas mit seinem Inhalte

*) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 455.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 321. 336.

und seinem Deckel in einen dünnen Ring von Messing, der an drei etwa 200^{mm} langen Seidenfäden an einer Wage hängt, die hinreichend fein ist, um ein Milligramm anzugeben, und an der, außer der Axe des Wagebalkens, kein Eisen sich befindet. Um die Wirkung bei schwachen Kräften zu verstärken, brachte er das Glas nicht mit einem einzelnen der beiden Pole des großen Elektromagnets in Berührung, sondern er legte auf diese die beiden oben erwähnten Halbanker aus Eisen, und näherte dieselben mit ihren abgerundeten Enden so, daß die geringste Entfernung derselben 6^{mm} betrug, und ajustirte die Wage in der Art, daß das Uhrglas in dem Ringe, wenn die Wage tarirt war, gleichzeitig jeden der beiden Halbanker, und zwar in einem einzigen Punkte eben berührte. Nach Erregung des Magnetismus wurde das Uhrglas angezogen. In die auf dem anderen Ende des Wagebalkens aufgehängte Schale wurde so lange feiner Bleischrot und dann feiner Sand oder dünnes Papier in kleinen Stückchen aufgelegt, bis das Uhrglas von den Ankern abgerissen wurde. Es fand dies mit der größten Regelmäßigkeit statt, und bei kleineren Kräften differirten, nach einiger Uebung, die Resultate verschiedener Abwägungen unter einander nicht um mehr als ein Paar Milligramme. Das Gewicht des zugelegten Schrotes und Sandes oder Papiers war das Maß für die jedesmalige magnetische Kraft.

Substanzen von schmalz- oder wachsartiger Consistenz konnten in ähnlicher Weise wie bei Flüssigkeiten, genau das Uhrglas anfüllen; eben so auch, wenn dieselben sich in ein feines Pulver verwandeln ließen. In diesem letzteren Falle konnte man auch, um die Anziehung zu schwächen, das Pulver namentlich mit frischem Schweineschmalz höchst gleichmäßig vermengen und dann das Gemenge in das Uhrglas bringen. — Plücker giebt folgende übersichtliche Zusammenstellung für die Vergleichung der Intensitäten des Magnetismus verschiedener Substanzen, sowohl für sich, als auch in chemischer Verbindung mit anderen berechnet, und hierbei die Intensität des Magnetismus des Eisens gleich 100000 gesetzt.

1)	Eisen	100000
2)	Magneteisenstein	40227
3)	Eisenoxyd I.	500
4)	„ II.	286
5)	Rotheisenstein	134
6)	Eisenglanz	533
7)	Eisenoxydhydrat	156
8)	Brauneisenstein	71
9)	Künstlicher Blutstein	151
10)	Trocknes schwefelsaures Eisenoxyd	111
11)	Eisenvitriol	78
12)	Gesättigte Lösung von salpeters. Eisenoxyd	34
13)	„ „ „ salzs. Eisenoxyd	98
14)	„ „ „ schwefels. Eisenoxyd	58
15)	„ „ „ salzsaur. Eisenoxydul	84
16)	Eisenvitriol in seiner Lösung	126
17)	Schwefels. Eisenoxydul in Eisenvitriol	142
18)	Salpeters. Eisenoxydul in seiner Lösung	95
19)	Salzsaures Eisenoxyd „ „ „	224

20) Schwefels. Eisenoxyd in seiner Lösung 133
21) Salzs. Eisenoxydul = = = 190
22) Schwefelsaures Eisenoxydul 219
23) Eisenchlorid in der Lösung 254
24) Eisenchlorür 216
25) Eisenkies 150
26) Eisenoxydul in der salzsauren Lösung 381
27) = = = schwefelsauren Lösung 462
28) Eisenoxyd im Hydrate 206
29) = = Blutstein 168
30) = in der salpetersauren Lösung 287
31) = in der salzsauren Lösung 516
32) = in der schwefelsauren Lösung 332
33) Eisen im Magneteisenstein 55552
34) = im Oxyd I. 714
35) = = Oxyd II. 409
36) = = Rotheisenstein 191
37) = = Eisenglanz 761
38) = = Eisenoxydhydrat 296
39) = = Blutstein 240
40) = = Schwefelkies 321
41) = = schwefels. Eisenoxyd 349
42) = = Eisenvitriol 385
43) = in der Lösung v. salpeters. Eisenoxyd 410
44) = = = = = salzsaurem = ... 737
45) = = = = = schwefels. = ... 474
46) = = = = = salzsaurem Eisenoxydul 490
47) = = = = = schwefels. = ... 594
48) Nickeloxydul 35
49) Nickeloxydulhydrat 106
50) Salpeters. Nickeloxydul in seiner Lösung 65
51) Salzsaures Nickeloxydul in seiner Lösung 100
52) Nickelchlorür in derselben 111
53) Nickeloxydul in Hydrat 142
54) Nickeloxydul in der salpeters. Lösung 164
55) Nickeloxydul in der salzs. Lösung 171
56) Nickel im Oxydul 45
57) Nickel im Oxydulhydrat 180
58) Nickel in der salpeters. Lösung 208
59) Nickel in der salzs. Lösung 217
60) Manganoxydhydrat 70
61) Manganoxydoxydul 167
62) Manganoxyd im Hydrat 78
63) Mangan im Oxydhydrat 112
64) Mangan im Oxydoxydul 232

Während das Eisen für sich so stark magnetisch ist, verliert es in den meisten chemischen Verbindungen seinen Magnetismus in einem so hohen Grade, daß

diese bis auf die neueste Zeit als dem Magnete nicht folgend oder als nicht magnetisch angesehen wurden. Daß aber die chemische Verbindung des magnetischen Metalls mit anderen Stoffen nicht immer schwächend wirkt, sieht man schon am Magneteisenstein (Eisenoxydulоxyd), der einen hohen Grad von Magnetismus behauptet. Und beim Nickel ist das Oxydulhydrat viel stärker magnetisch als das Oxydul selbst, indem das hinzutretende Hydratwasser den Magnetismus ungefähr auf das Vierfache verstärkt.

Plücker *) hat auch die Intensitäten des Diamagnetismus verschiedener Substanzen mit einander verglichen. Das Uhrglas mit aufgeschliffenem Deckel von Glas wurde nach einander mit den verschiedenen Substanzen gefüllt, und das so gefüllte Uhrglas auf die beiden, ihre abgerundeten Enden einander zukehrenden, Halbanker so aufgesetzt, daß es jeden derselben nur in einem einzigen Punkte berührte. Das Uhrglas und der Messingring, in dem es aufgehängt wurde, waren aber beide magnetisch. Wird daher in ersteres irgend eine diamagnetische Substanz gebracht, so ist die Anziehung, die man beobachtet, der Ueberschuß der magnetischen Anziehung jener beiden ersten über die diamagnetische Abstoßung dieser letzteren. Jene Anziehung war stärker als die diamagnetische Abstoßung fast aller von Plücker untersuchten Substanzen, so daß das gefüllte Glas immer noch von den beiden Halbankern festgehalten wurde, und wie ein magnetischer Körper abgezogen werden konnte. Subtrahirt man hiernach von der Anziehung des leeren Glases die kleinere Anziehung des mit einer diamagnetischen Substanz gefüllten Glases, so erhält man die diamagnetische Abstoßung, die diese Substanz durch den Elektromagneten erfährt. Auf diese Weise konnte der Diamagnetismus der verschiedenen Flüssigkeiten und solcher Körper, denen man überhaupt, namentlich auch durch Schmelzung, die Form des Innern des Uhrglases geben kann, zunächst bei gleicher Form und gleichem Volumen mit einander verglichen werden.

Die erste Columne der nachstehenden Tabelle von Plücker giebt die Abstoßung, welche die verschiedenen, in das Uhrglas eingeschlossenen, Substanzen durch den Elektromagneten erleiden, ausgedrückt in Grammen. In der zweiten Columne ist die diamagnetische Abstoßung des Wassers gleich 100 gesetzt, und hiernach die Abstoßung der übrigen Substanzen berechnet. Diese Zahlen haben eine allgemeine Bedeutung, in der Art, daß wenn man die verschiedenen Substanzen in eine andere gegebene Form bringt, und diese in gleichmäßiger Weise von den Polen abzieht, dieselben Zahlen sich ergeben müssen. In der dritten Columne ist die diamagnetische Abstoßung, welche gleiche Gewichte der untersuchten Substanzen erleiden, durch Zahlen ausgedrückt, indem wieder die Abstoßung des Wassers gleich 100 gesetzt ist. Diese Zahlen geben also die entsprechenden diamagnetischen Abstoßungen, wenn man in dieselbe gegebene Form, gleichmäßig vertheilt, gleiche Gewichte der verschiedenen Substanzen bringt.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 354.

	Diamagnetische Abstoßung	Diamagnetismus bei gleichem Volumen	Diamagnetismus bei gleichem Gewicht
Wasser	0gr.,14	100	100
Alkohol I (0,813)	0,13	93	114
Alkohol II (0,851)	0,17	122,5	143
Schwefeläther	0,13	93	127
Schwefelkohlenstoff	0,18	129	102
Schwefelsäure	0,09	64	34
Salzsäure	0,16	114	102
Salpetersäure	0,10	71	48
Geschlagenes Ochsenblut . . .	0,17	122,5	—
Gesättigte Lösung von gelbem Blutlaugensalz	0,12	86	70
Gereinigtes Kochsalz, gepulvert	0,13	—	79
Wismuthoxyd, gepulvert . .	0,06	—	35
Schwefelblüthe	0,10	—	71
Terpentinöl	0,15	107	123
Quecksilber	0,44	314	23
Phosphor	0,245	1,72	100

Die magnetische und diamagnetische Eigenschaft von Flüssigkeiten läßt sich nach Plücker *) auch an einer eigenthümlichen Gestaltsveränderung erkennen, wenn dieselben unter den gehörigen Umständen der Einwirkung der Magnetpole ausgesetzt sind. Ein Uhrglas, aus einer Kugel geschnitten, wurde auf die beiden Halbanker so gesetzt, daß es diese in denjenigen Punkten berührte, deren Entfernung die kleinste war, und dann in dasselbe die Flüssigkeit gebracht. War diese eine magnetische, z. B. eine Auflösung von Eisenchlorid in Wasser, so nahm dieselbe bei einem gewissen Abstand der beiden Halbanker, statt des sonstigen kreisförmigen Umfanges eine solche Form an, daß sie, von oben gesehen, sich von einer fast geometrisch genauen Ellipse begrenzt darstellte, deren kleine Axe in die durch die Axe der beiden Hufeisenschenkel gehende Ebene fiel, während deren große Axe in der auf der vorigen senkrecht stehenden Aequatorialebene lag. Die Flüssigkeit drängte sich in diese Ebene, in derselben einen Bergrücken bildend, dessen Kamm durch eine Curve gebildet wurde, die sich in der Mitte fast zu einer geraden Linie abflachte, und an den Enden, ihre Convexität ändernd, sich rasch zum Glase herabsenkte. Eine diamagnetische Flüssigkeit dehnte sich dagegen nach der axialen Lage aus, während sie sich nach der äquatorialen zusammenzog. Oberhalb der Mitte zwischen den beiden Halbankern bildete sich statt des Bergrückens ein in der Aequatorialebene sich hinziehendes Thal. Blut ist eine diamagnetische Flüssigkeit. Bei demselben war unter dem Mikroskop neben einer Abstoßung der ganzen Flüssigkeitsmasse noch eine besondere Abstoßung der Blutkügelchen wahrzunehmen. Aehnlich verhielt sich die Milch mit ihren kleinen Fettkügelchen.

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 567.

Faraday hielt anfänglich die gasartigen Körper für indifferent bezüglich der Einwirkung des Magnetismus, bis Bancalari und Zantedeschi die diamagnetische Abstoßung der Flammen, welche größtentheils aus erhitzten Gasen bestehen, nachwiesen*). Dies wurde alsdann von Faraday**) und Plücker***) nicht allein für die Flammen, sondern auch für die Gase überhaupt bestätigt. Wenn man die Flamme eines Kerzenlichtes oder des Weingeistes zwischen die Polspitzen des Elektromagnets bringt, so wird sie durch die Wirkung des Magnetismus comprimirt, und es findet in Folge der Abstoßung der Flammentheile eine Abweichung derselben von der Verbindungslinie der beiden Magnetpole (der axialen Linie) statt. Als die Flamme in einer gewissen Höhe zwischen den Polen stand, nahm sie die Gestalt eines quer gegen die axiale Linie gestellten Fischschwanzes an, und als die Wirkung ihr Maximum erreichte, bog sich die Spitze zuletzt herab, und breitete sich rechts und links von der axialen Linie aus, eine Doppelflamme mit zwei langen Zungen bildend. — Wenn ein nußgroßer Ball von Baumwolle auf einen Draht gesteckt, mit Aether getränkt und angezündet wird, so giebt er eine Flamme von sechs bis sieben Zoll Höhe. Diese große Flamme stieg ungehindert zwischen den Polen in die Höhe; so wie aber der Magnet in Thätigkeit gesetzt wurde, theilte sie sich in zwei Flammen, die eine auf dieser, die andere auf jener Seite der axialen Linie. Gefärbte Gasarten, wie salpetrige Säure, Brom- und Joddämpfe bieten ähnliche Erscheinungen dar, wie auch der aufsteigende Rauch eines brennenden Räucherkerzchens, das unter den Halbankern aufgestellt ist. Zur Untersuchung farbloser Gase benutzte Faraday offene Röhren aus dünnem Glase, die auf kleinen Gestellen so befestigt waren, daß sie nach Belieben entweder über oder unter den Magnetpolen angebracht werden konnten. Wenn sie über den Polen waren, wurden deren gewöhnlich drei, eine über der axialen Linie und eine an jeder Seite derselben, genommen. Das auf besondere Weise zu den Magnetpolen geführte Gas enthielt etwas Salzsäure, doch nicht so viel, daß es sichtbar wurde. Um sichtbar zu machen, durch welche der Glasröhren es ging, wurde ein Stückchen Fließpapier, zusammengefaltet und an einem Kupferdrahte befestigt, in Ammoniakflüssigkeit getaucht und über jeder der Röhren aufgehängt. Durch den sichtbaren Rauch, der sich über der einen oder anderen Röhre bildete, war nun sogleich klar, ob und durch welche Röhre das von unten her eingeleitete Gas in die Höhe stieg, während das Gas an dem Orte der magnetischen Action vollkommen klar blieb. So ließ sich der Weg erkennen, welchen die Gastheilchen in Folge der Einwirkung der Magnetpole einschlagen mußten. Um die Luft vor störenden Bewegungen zu schützen, war um die Pole und das magnetische Feld eine schirmende Kammer aus dünnen Glimmertafeln erbaut. Der Wasserstoff erwies sich nun als stark diamagnetisch, eben so auch, aber in abnehmendem Grade, alle übrigen untersuchten Gase. Der Diamagnetismus des Stickstoffs, wie auch der atmosphärischen Luft erschien schwach, konnte aber durch Erhitzen merklich erhöht werden. Der Sauerstoff, welchen Faraday anfänglich als das am wenigsten diamagnetische Gas bezeichnete, wurde später von ihm und Plücker als magnetisch erkannt, so daß derselbe also von den Magnetpolen eine Anziehung erfährt. Sauerstoff

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 286.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 256. Philos. Magaz. Ser. III. Vol. XXXI. p. 90.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 549.

erscheint nach Faraday etwa so stark magnetisch als ein gleiches Volumen Wasser, welches das Siebzehnfache seines (des Sauerstoffs) Gewichtes an Eisenvitriol gelöst enthält. Andere hierher gehörige Versuche wurden mit Seifenblasen angestellt, welche mit verschiedenen Gasen angefüllt der Wirkung des Magnets ausgesetzt und dann angezogen oder abgestoßen wurden, je nach der Natur der Gase und nach der Natur des umgebenden Mediums. Faraday *) versah auch einen Hebel, der horizontal an einem Seidenfaden schwebte, an einem Ende mit einem horizontalen Querstab, und hing an den Enden dieses letztern zwei Glasblasen auf, von denen jede mit einem besonderen Gase gefüllt war. Die Glasblasen befanden sich $1^1/_2$ Zoll von einander, vor einem auf ihrer Mittellinie liegenden cylindrischen Magnetstabe, der nun, so wie er erregt wurde, den relativen Magnetismus und Diamagnetismus der beiden Gase anzeigte, indem er die eine oder andere in die axiale Lage zog. Die mit Sauerstoff gefüllte Blase wurde immer angezogen. Auch wurde in einer der Blasen das Gas in mehr oder weniger verdünntem Zustande angewandt. Sauerstoff von gewöhnlicher Dichte wurde gegen verdünnten Sauerstoff immer angezogen, war also stets magnetischer als letzterer. Höchst verdünnter Sauerstoff hielt Stickstoff das Gleichgewicht. Stickstoff und andere Gase (ausgenommen ölbildendes Gas und Cyan) zeigten dagegen bei jeder Verdünnung dieselbe Kraft. Bei höchster Verdünnung durch die Luftpumpe verhielten sich alle Gase gleich, selbst Sauerstoff.

Was den Einfluß der Temperatur betrifft, so wird wohl der Diamagnetismus der Gase durch Erhöhung derselben verstärkt, während der Diamagnetismus starrer Körper nach Plücker's **) Untersuchungen eben so wie der Magnetismus mit wachsender Temperatur abnimmt.

Was den Einfluß der Umgebung eines Körpers auf die Anziehung oder Abstoßung betrifft, die er durch einen Magneten erfährt, so kam Plücker ***) zu den folgenden allgemeinen Resultaten. Die Anziehung eines magnetischen Körpers, der in eine magnetische oder diamagnetische Flüssigkeit eingetaucht wird, nimmt gerade um so viel ab oder zu, als die magnetische Anziehung oder diamagnetische Abstoßung der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit vor dem Eintauchen betrug. Die Abstoßung eines in dieselbe Flüssigkeit eingetauchten diamagnetischen Körpers nimmt umgekehrt gerade um so viel zu oder ab, als die magnetische Anziehung oder diamagnetische Abstoßung der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit betrug. Wenn also der eingetauchte Körper sowohl als auch die Flüssigkeit, beide magnetisch oder beide diamagnetisch sind, die Flüssigkeit aber jedesmal stärker als der eingetauchte Körper, so geht einmal die magnetische Anziehung dieses letzteren in diamagnetische Abstoßung, das andere Mal diese in jene über.

Ein besonderes Verhalten zeigen Krystalle, wenn sie an einem Coconfaden zweckmäßig befestigt, zwischen die Pole des Magnets gebracht werden. So fand Plücker ****), daß optisch einaxige Krystalle eine solche Einwirkung erfahren, daß die Axe das Bestreben erhält, sich äquatorial zwischen die Magnetpole zu stellen, als ob diese Axe von jedem der beiden Pole abgestoßen würde. Wenn

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 327 ff.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 177.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 578.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 315.

der Krystall zwei optische Axen hat, so wird jede dieser beiden Axen von jedem der beiden Pole mit derselben Kraft abgestoßen. Ein rasch abgekühlter Glascylinder verhielt sich zwischen den Magnetpolen wie ein einaxiger Krystall, wie eine Turmalinsäule z. B., wobei die Axe des Cylinders die Stelle der optischen Axe einnahm *). Faraday **) entdeckte aber, daß verschiedene Krystalle mit vorherrschender Spaltungsrichtung, wie Wismuth, Arsen rc., zwischen den Magnetpolen sich so zu stellen streben, daß die Spaltungsrichtung die äquatoriale Lage erhält. Die auf dieser Richtung winkelrecht stehende Linie, welche Faraday Magnokrystallaxe nennt, stellt sich von Pol zu Pol, also axial. Und hieran reiht sich eine Wahrnehmung Plücker's ***), nach welcher geschmolzenes Wismuth, das zwischen den Magnetpolen erstarrte, so anschoß, daß die vorherrschende Spaltungsrichtung senkrecht auf der Verbindungslinie der Magnetpole oder senkrecht auf der axialen Linie stand. Der Magnetismus wirkt hiernach auf die Krystallisation des erstarrenden Wismuths in der Art, daß es bestimmt wird, den Ebenen der vollkommenen Spaltbarkeit die äquatoriale Lage zu geben.

Plücker ****) wurde durch weitere Versuche zu der Aufstellung des Gesetzes veranlaßt, daß die optische Axe bei negativen Krystallen von den Magnetpolen abgestoßen, bei positiven dagegen von denselben angezogen werde. Plücker†) sah hierin eine neue Kraft, welche, unabhängig von der magnetischen oder diamagnetischen Beschaffenheit der Substanz, sich bei den optisch negativen Krystallen in der Form einer Abstoßung, bei positiven als eine Anziehung darstelle, und mit der Entfernung von den Magnetpolen langsamer abnehme, als die von diesen Polen aus auf die Krystalle wirkenden magnetischen oder diamagnetischen Kräfte.

Knoblauch und Tyndall wiederholten die Versuche Plücker's prüfend ††) und operirten zunächst mit eilf Kalkspathkrystallen, aus denen kreisförmige Scheiben so geschliffen waren, daß die optische Axe in ihrer Ebene lag. Unter diesen eilf Krystallen fanden sich fünf, bei denen die optische Axe zwischen den Magnetpolen eine äquatoriale Lage annahm, während sie sich bei den sechs anderen entschieden von Pol zu Pol stellte. Die Beziehung zwischen der jedesmaligen Stellung des Krystalls und seiner Structur zeigte sich darin, daß jene fünf Krystalle sich mit ihren Spaltungsrichtungen von Pol zu Pol, die sechs übrigen dagegen mit diesen Richtungen in die äquatoriale Lage zu stellen suchten. Um bei jedem dieser eilf Krystalle zu erfahren, ob seine Masse magnetisch oder diamagnetisch sei, wurde jedes der zu prüfenden Exemplare mittelst eines Achatmörsers in Pulver verwandelt, dasselbe mit destillirtem Wasser geschlemmt und aus der fein vertheilten Masse cylindrische Stäbchen formirt, welche getrocknet durch ihre Stellung zwischen den Magnetpolen ihren magnetischen oder diamagnetischen Zustand verrathen mußten, insofern bei ihnen der Einfluß der krystallinischen Structur vernichtet war. Die erwähnten fünf Kalkspathe richteten sich in dieser Form zwischen den Magnetpolen aufgehängt, wie Stäbe von amorpher chemisch reiner

*) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 108.
**) Philos. Magaz. 1849. Jan. p. 75. Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 144.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 576.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 447.
†) Vergl. auch Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 315. 342.
††) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 233.

kohlensaurer Kalkerde, äquatorial, die sechs anderen Exemplare dagegen, unter sonst gleichen Umständen, axial. Jene waren also diamagnetisch, diese magnetisch. Dies bestätigte sich auch dadurch, daß Krystallstücke in irgend einer Gestalt vor einem einzigen Pole eines starken Elektromagnets aufgehängt, ihrer ganzen Masse nach abgestoßen wurden, wenn sie von jenen fünf genommen waren, hingegen angezogen wurden, wenn sie einem der sechs angehörten. Die chemische Analyse ließ schließen, daß der Magnetismus dieser letzteren Kalkspathe von einer gewissen Quantität kohlensauren Eisenoxyduls herrührte, das isomorph mit dem kohlensauren Kalk in den Krystallen enthalten war. Es wurde nun geschlossen, daß das Bestreben der fünf diamagnetischen Kalkspathe, sich mit der Spaltungsrichtung von Pol zu Pol zu stellen, nicht einem in dieser Richtung vorherrschenden Magnetismus zuzuschreiben sei, sondern vielmehr einer Verminderung des Diamagnetismus in diesem Sinne. Und in entsprechender Weise mußte man das Bestreben der sechs übrigen Krystalle, sich mit den Spaltungsflächen äquatorial zu richten, da sie sich magnetisch erwiesen hatten, für eine Folge des im Sinne dieser Flächen geschwächten Magnetismus halten. Zur Bestätigung dieser Ansicht wurde mit Elfenbein experimentirt, welches diamagnetisch und zwar in einer gewissen Richtung in geringerem Grade als nach anderen ist. Wurden nun zwei Elfenbeinplatten so über einander gelegt, daß die Richtungen ihres schwächeren Diamagnetismus unter einander denselben spitzen Winkel wie die Spaltungsrichtungen in einem Kalkspathstreifen bildeten, der die lange Diagonale des Rhombus enthielt, und wurde alsdann dem Elfenbein dieselbe äußere Form wie dem Streifen gegeben, so richtete sich dieses Stück, wie der diamagnetische Kalkspath selbst, axial. Die Halbirungslinie des spitzen Winkels jener Richtungen stand von Pol zu Pol. Schlossen dagegen, bei anderen Elfenbeinplatten, jene Richtungen des schwächeren Diamagnetismus denselben stumpfen Winkel ein wie die Spaltungsrichtungen in einem, nach der kurzen Diagonale geschnittenen Kalkspath, so stellte sich das Elfenbeinstäbchen, dem wieder eine gleiche Gestalt mit dem Krystall gegeben war, wie dieser, äquatorial. Eben so ließen sich alle an den magnetischen Krystallen wahrgenommenen Erscheinungen künstlich mittelst Guttapercha hervorbringen, die als magnetisch und zugleich in einer Richtung als schwächer magnetisch erkannt worden war. Das Hauptresultat ist, daß sich beim Kalkspath alle beobachteten Erscheinungen darauf zurückführen lassen, daß die diamagnetischen Exemplare in der Spaltungsrichtung schwächer diamagnetisch, die magnetischen in jener Richtung schwächer magnetisch sind.

Wird aus dem feinen Pulver eines rein diamagnetischen Körpers, z. B. Mehl, dessen Theilchen leicht an einander haften, wenn ihm eine Spur von Gummi-Wasser beigemengt ist, ein kleiner vierkantiger Stab gebildet, so stellt sich dieser, horizontal zwischen den Magnetpolen aufgehängt, der Erwartung gemäß äquatorial. Drückt man ihn aber in der Richtung seiner größeren Ausdehnung so weit zusammen, daß das Parallelopipedon in einen Würfel übergeht, so stellt sich dieser zwischen den Polen so ein, daß die Richtung, in welcher die Zusammendrückung stattgefunden hat, die äquatoriale Lage annimmt. Dies ist selbst dann noch der Fall, wenn die Zusammendrückung in demselben Sinne wie zuvor, so weit fortgesetzt worden, daß aus dem Würfel eine dünne Platte entstanden ist. Hier ist nun die diamagnetische Wirkung in derjenigen Richtung, in welcher die materiellen Theile des Körpers durch das Pressen einander näher gerückt worden sind,

größer geworden. Deshalb sucht sich die Reihe der in dieser Richtung liegenden Theilchen vorzugsweise von den Polen zu entfernen; so daß die Ebene der Scheibe sich von Pol zu Pol stellt. Ein nicht comprimirter homogener Würfel aus derselben Substanz zeigte keine richtende Kraft. — Wurde dem Mehl fein gepulvertes Eisenoxydul, welches magnetisch ist, beigemischt, so stellte sich ein aus dem Gemenge gebildeter Stab axial. Drückte man ihn aber auf die angegebene Weise zusammen, so nahm die entstehende Platte eine äquatoriale Lage an. Derselbe Versuch ließ sich mit reinem kohlensaurem Eisenoxydul anstellen. Diese Erscheinung beruht darauf, daß die magnetische Wirkung in derjenigen Richtung, in welcher die Theile einander genähert wurden, verstärkt worden ist, und daß die überwiegende Anziehung in diesem Sinne die bezeichnete Stellung der Scheibe bewirkt. Knoblauch und Tyndall schlossen *) hieraus, daß überhaupt in diamagnetischen wie in magnetischen Körpern, deren Theile nicht nach allen Seiten hin gleich weit von einander abstehen, die (diamagnetische oder magnetische) Wirkung, welche sich an ihnen zwischen den Polen kund giebt, immer in der Richtung am stärksten ist, in welcher die materiellen Theile am nächsten bei einander sind. Hierauf wurden noch einige Versuche mit Rhomboëdern aus Pulvern von chemisch reiner kohlensaurer Kalkerde und Eisenoxyd angestellt, welche in einem Schraubstock nach einer Richtung stark zusammengepreßt worden waren. Die Rhomboëder aus kohlensaurem Kalk zeigten bei gehöriger Aufhängung zwischen parallelopipedischen oder conischen, nahm wie fernen Polen dieselben Erscheinungen wie ein Kalkspathkrystall. Und die Stellungen eines künstlichen Rhomboëders aus Eisenoxyd waren identisch mit denen eines Eisenglanzrhomboëders.

Plücker **) fand, daß ein horizontal hängendes Prisma eines magnetischen Turmalins zwischen den nahen Polspitzen eines Elektromagnets axial, zwischen fernen äquatorial gerichtet wurde. Im ersten Falle sollte die magnetische Anziehung, im zweiten die eigenthümliche abstoßende Wirkung der Magnetpole auf die Axenrichtung überwiegen. Knoblauch und Tyndall fanden nun, daß ein Stab aus einem magnetischen Pulver, dessen Theile senkrecht auf seine Längendimension näher an einander gerückt sind als in dieser, sich unter fast gleichen Umständen eben so wie der Turmalin verhält. Eine Untersuchung des magnetischen Feldes zwischen den Polen mittelst Eisenfeilspähnen überzeugte sie, daß eine sehr starke Wirkung in unmittelbarer Nähe der conischen Spitzen vorhanden ist, daß dieselbe aber außerordentlich schnell mit der Entfernung abnimmt. Kommt nun ein Theil, z. B. ein Ende des aufgehängten magnetischen, in den Bereich jener Wirkung, so wird er mit großer Kraft angezogen, und es stellt sich deshalb der ganze Stab bei nahen Polen axial. Entfernt man aber die letzteren, so daß ihr überwiegender, localer Einfluß auf die Endpunkte des Körpers im Vergleiche mit dem auf seine Masse verschwindet, so macht in dieser die ungleiche Aggregation der Theilchen sich geltend, und es treten die beschriebenen Wirkungen ein: der magnetische Körper stellt sich mit der Richtung, in welcher seine Theile am nächsten bei einander sind, von Pol zu Pol, und richtet sich also in

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 481 ff.

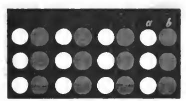
**) Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 315. 321. 342; Bd. LXXVI. S. 576. Vergl. auch Bd. LXXXI. S. 115 ff.

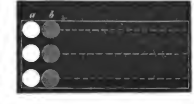
dem Falle, daß er magnetisch ist, mit seiner Längendimension äquatorial. Dies geschah auch bei nahen parallelopipedischen Polen, wenn das Turmalinprisma oder der Stab mitten zwischen ihnen aufgehängt wurde. Eine directe Untersuchung des magnetischen Feldes (in obiger Weise) ergab, daß in diesem Falle wie bei fernen Polen eine fast gleichmäßige, nur verstärkte, Wirkung auf den ganzen eingeschalteten Körper ausgeübt wurde.

Verschiedene von Plücker in Bezug auf ihr magnetisches Verhalten näher untersuchte Krystalle hat derselbe *) in einer Tabelle zusammengestellt.

Der Magnetismus übt auch auf die Richtung eines polarisirten Lichtstrahles, der ein durchsichtiges Mittel durchdringt, einen bestimmten Einfluß, welcher mit den besprochenen diamagnetischen Erscheinungen in nächster Beziehung steht. Das Nähere hierüber wird man im Art. Polarisation des Lichts finden.

Wir wenden uns nun zur Theorie der magnetischen und diamagnetischen Erscheinungen. Als wesentliches Merkmal der magnetischen Körper zeigten uns die betreffenden Thatsachen einen gewissen polaren Gegensatz, der selbst in den kleinsten Massentheilchen dieser Körper als vorhanden angenommen werden muß. Es bietet sich nun, ohne sich auf weitere Hypothesen einzulassen, zunächst und ungezwungen (auf Grund des Thatsächlichen) der Gedanke dar, daß jener Gegensatz der Materie als solcher wesentlich sei, insofern es möglich und sogar wahrscheinlich ist, daß jeder Körper aus zwar einfachen, aber unter einander entgegengesetzten Atomen constituirt ist. Und dies fällt zusammen mit der Vorstellungsweise, nach welcher man sich jedes kleinste Massen- oder Körpertheilchen aus zwei entgegengesetzten Hälften bestehend denkt. Die magnetische Polarität erfordert aber noch eine besondere Anordnung dieser Theilchen in der Art, daß die ungleichnamigen Atome oder Hälften einander zugekehrt sind, wie beistehende Figur zeigt, die einen linearen





Magneten in reinster Form darstellt. Im gewöhnlichen (unmagnetischen Zustande) sind die ungleichartigen Elemente (Atome) so mit einander verbunden, daß sie in einem gewissen Zustande der Indifferenz sich befinden. Durch jede Ursache aber, welche den Massentheilchen die in der Figur angegebene Richtung verleihet, so daß die ungleichartigen Elemente nach einer bestimmten Richtung alle einander zugekehrt sind, wird der magnetische Zustand hervorgerufen. Hiermit ist ein Auseinandertreten der ungleichartigen Elemente nach entgegengesetzten Richtungen verbunden, wodurch sie aus dem Zustande der Indifferenz heraustreten und bis zu einem gewissen Betrage freie Wirksamkeit nach Außen erlangen. Je bedeutender dieses Auseinandertreten ist und je mehr dabei die ungleichartigen Elemente

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 427.

einander zu-, die gleichartigen dagegen von einander abgekehrt werden, desto stärker wird die magnetische Polarität hervortreten. Der magnetische Zustand ist hiernach eine gewisse erzwungene Abweichung der Theilchen aus ihrer gewöhnlichen Gleichgewichtslage, in die sie stets mehr oder weniger zurückzukehren streben.

Befindet sich nun ein Eisenstab in der Nähe des Magneten (s. obige Figur), so werden die Bestandtheile b des letzteren die entgegengesetzten Elemente a des ersteren anziehen, die gleichartigen hingegen zurückstoßen, so daß demzufolge ein Bestreben vom Magneten ausgeht, eine ihm entsprechende Anordnung der Massentheilchen im Eisen herzustellen. Und dies ist die sogenannte magnetische Vertheilung. Es ist aber nicht nöthig, eine unmittelbare Fernwirkung der magnetischen Theilchen auf die Bestandtheile des Eisens anzunehmen, sondern man kann annehmen, daß die Wirkung jener Theilchen sich vermittelst des Aethers, dessen Elemente man sich aus anderweitigen Gründen um die Massentheilchen der Materie gruppirt denkt, fortpflanze. Die Wirkungen, welche von den Bestandtheilen a und b des Magnets nach verschiedenen Richtungen ausgehen, und stets mit einander fortlaufen, wollen wir „magnetische Kraftlinien" nennen. — Das Wesen der sogenannten magnetischen Vertheilung besteht also darin, daß der Magnet durch seine Kraftlinien den Bestandtheilen des betreffenden Körpers eine ihm entsprechende Anordnung zu ertheilen strebt. Diese Anordnung kann aber nur dadurch bewerkstelligt werden, daß die Atome des der Vertheilung ausgesetzten Körpers ihre gewöhnliche Gleichgewichtslage verlassen; sie müssen eine Bewegung (Drehung) vollziehen, die durch eine Erschütterung des Körpers wohl jedenfalls begünstigt werden kann. Da aber die Molecüle (Massentheilchen) des magnetisirten Körpers stets in ihre gewöhnliche Lage zurückzukehren streben, so erkennt man auch, daß dieses Bestreben (bei einem sonst sich selbst überlassenen Magneten) durch eine mechanische Einwirkung (Erschütterung) in seinem Erfolg befördert werden kann, und in dem Maße als dies geschieht, nimmt die Kraft des selbstständigen Magneten ab. In ähnlicher Weise wirkt die Wärme, insofern sie die Beweglichkeit der Massentheilchen vermehrt. Es ist hierüber, so wie über verschiedenes andere hierher gehörige schon im Art. Elektromagnetismus (Bd. II. S. 817 ff.) die Rede gewesen, weshalb wir hier darauf verweisen müssen.

Wenn die Massentheilchen eines Körpers, etwa in Folge eines äußeren magnetischen Einflusses, die Lage, welche dem Magnetismus entspricht, angenommen haben, so findet zwischen diesen Theilchen ein gegenseitiger Einfluß statt, durch welchen die magnetische Polarität in ihnen verstärkt wird. Die nebenstehende Figur stelle eine Reihe magnetischer Massentheilchen vor, in denen die Polarität zunächst gleich groß sei, so daß die Atome a, b in allen in demselben Grade nach entgegengesetzten Richtungen aus einander getreten sind.



Es besteht nun ein wechselseitiger Einfluß zwischen dem Massentheilchen I und allen folgenden, eben so zwischen II und den folgenden. Doch wird die Wirkung der letzteren auf II, wegen der geringeren Entfernung, etwas größer sein als auf I. Betrachtet man die gegenseitige Einwirkung zwischen I und II, so erkennt man, daß Abstoßungen zwischen a und a_1 und zwischen b und b_1, stattfinden, und daneben Anziehungen zwischen a und b_1, und

zwischen b und a_1. Die letztere Anziehung ist stärker als die erstere, und eine Folge dieser Wirkungen ist es, daß sowohl die Bestandtheile a und b, als auch der Bestandtheil a_1 und b_1 weiter aus einander treten, wodurch eine Steigerung der magnetischen Polarität in I und II bewirkt wird. Derselbe wechselseitige Einfluß besteht auch zwischen II und den folgenden, während II zugleich der Einwirkung von I ausgesetzt ist. Es wird darum die magnetische Polarität von II stärker als die von I sich entwickeln. Von den Massentheilchen III, IV und V gilt im Wesentlichen dasselbe wie von I und II. Die magnetische Polarität der einzelnen Massentheilchen nimmt von dem mittelsten Massentheilchen nach den Enden hin ab. Es werden aber die Kraftlinien von a_2 (in III) in die Kraftlinien von b_1 (in II) eingreifen und dieselben vollständig binden, während jene, da das Uebergewicht auf ihrer Seite ist, nur theilweise gebunden werden. Eben so ist es zwischen a_1 und b, während die freie Wirksamkeit von a (in I) ungeschmälert bleibt. Betrachtet man aber die Reihe von dem Massentheilchen III nach der entgegengesetzten Seite hin, so erscheint das Uebergewicht auf Seiten der Elemente b, welche einestheils frei nach Außen wirken, anderntheils aber die Kraftlinien von a vollständig binden. Und dies geht so fort bis zum äußersten Element b_4, das seine volle Wirksamkeit nach Außen behält. Es werden also von der Mitte aus auf der einen Seite die Kraftlinien von a, auf der anderen hingegen die von b eine freie Wirksamkeit üben, oder es wird, wie die Erfahrung lehrt, auf der einen Hälfte der sogenannte Nord-, und auf der anderen der sogenannte Südmagnetismus vorherrschen. Obschon also das magnetische Moment der einzelnen Massentheilchen von den beiden Enden der Reihe nach der Mitte hin zunimmt, so wird doch, da die Kraftlinien der einander zugekehrten ungleichartigen Bestandtheile sich in der angegebenen Weise binden, der freie Magnetismus in der Mitte verschwindend klein sein. Ein wirklicher Magnetstab ist nun ein Inbegriff solcher elementarer Magnete, und jeder Pol derselben ist der Punkt, durch welchen die Resultirende aller gleichartigen magnetischen Kraftlinien hindurchgeht. Dieser Punkt kann aber nicht an dem Ende selbst, sondern nur in einem gewissen Abstande von demselben liegen; denn jene Lage würde nur möglich sein, wenn die gegenseitige Bindung der ungleichartigen Kraftlinien auf jeder Hälfte des Magnets eine vollständige wäre.

Ist ein Eisenstab der vertheilenden Wirkung eines Magnetpols ausgesetzt, dessen Entfernung gegen die Dimensionen des Stabes sehr groß ist, so werden alle Massentheilchen längs des Stabes eine fast gleiche starke magnetische Einwirkung erleiden, und vermöge der Verstärkung, welche die magnetische Polarität durch die besprochene Wechselwirkung der einzelnen Theilchen erfährt, wird der Stab an beiden Enden freien Magnetismus entgegengesetzter Art und in der Mitte eine neutrale Zone zeigen. Wenn aber der magnetisirende Einfluß (der Magnetpol) merklich näher rückt, so wirkt er natürlich auf die ihm zunächst zugekehrten Massentheilchen des Stabes stärker als auf die entfernteren. Die dem Pole ungleichartigen Kraftlinien des Eisens werden dann von ihm stärker gebunden, während die gleichartigen frei bleiben, und so erlangen die letzteren auf einer größeren Strecke des Stabes das Uebergewicht, oder, was dasselbe heißt, die neutrale Zone rückt mehr dem Ende zu, welches dem vertheilenden Einflusse des Magnetpoles zunächst ausgesetzt ist. Wenn endlich der Magnetpol mit dem einen Ende des Eisenstabes in unmittelbare Berührung kommt, so kann die vertheilende Wirkung des ersteren das volle Uebergewicht erlangen über die Verstärkung, welche

aus der wechselseitigen Einwirkung der Massentheilchen hervorgeht und zur Folge hat, daß das größte magnetische Moment in den mittleren Theil des Stabes fällt.

Weil nun der Magnetpol auf die ihm zunächst liegenden Theilchen des Eisens stärker als auf die entfernteren wirkt, so erhalten die ersteren ein größeres magnetisches Moment als die letzteren. Und deshalb wird auch, wenn man vom berührenden Magnetpol nach der Mitte des Eisenstabes hingeht, der eine Bestandtheil b des vorhergehenden Massentheilchens das ungleichartige Element a_1 des folgenden Theilchens in seiner Wirkung neutralisiren, während jener Bestandtheil selbst noch einen gewissen Antheil freier Wirksamkeit behält. Da dies nun so fortgeht von einem Massentheilchen zum anderen, so können nur die dem anliegenden Magnetpol gleichartigen Magnetkraftlinien des Eisens frei nach Außen wirken, insofern die ungleichartigen Kraftlinien durch den Magnetpol vollständig gebunden sind. Der Eisenstab wird daher in diesem Falle seiner ganzen Länge nach freien Magnetismus von derselben Art zeigen wie der vertheilend wirkende Magnetpol.

Man legte früher der Erklärung der magnetischen Erscheinungen gewöhnlich die Vorstellung von zwei entgegengesetzten (magnetischen) Flüssigkeiten zu Grunde. Die Theilchen einer und derselben Flüssigkeit sollten sich gegenseitig abstoßen, dagegen die Theilchen der anderen Flüssigkeit anziehen. Es zeigte sich jedoch sehr bald, daß diese Annahme nur dann einigermaßen mit den Thatsachen bestehen könne, wenn man noch voraussetzte, daß diese Flüssigkeiten weder von einem Magneten auf das Eisen, noch auch von einem Massentheilchen auf das andere übergehen könnten. Es müßte eine Erschöpfung des Magneten eintreten, wenn dieser beim Magnetisiren des Eisens etwas von seinen Flüssigkeiten an das letztere abgäbe. Dagegen verliert ein Magnet bekanntlich nicht das Geringste an Kraft, wenn man ihn mit beliebig großen Eisenstücken in Berührung läßt. Die Meinung aber, daß an dem einen Pol vorzugsweise die eine, an dem anderen vorzugsweise die zweite Flüssigkeit angehäuft sei, ist ganz zu verwerfen, weil jede Hälfte eines Magnets wieder einen vollständigen Magneten darstellt, wenn man ihn wirklich theilt. Da nun ein Eisenstab, so lange er unter dem Einflusse eines Magneten steht, zwei Pole und eine Indifferenzlinie zeigt, so müssen in ihm selbst beide Flüssigkeiten vorhanden sein. Derselbe könnte aber im Grunde nur eine Flüssigkeit enthalten, wenn während der Einwirkung des Magnets wirklich etwas von diesem auf das Eisen übergegangen wäre. Jedes Massentheilchen eines Magnets erscheint polarisch; deshalb müssen beide Flüssigkeiten in jedem Massentheilchen nach entgegengesetzten Richtungen von einander geschieden sein, dergestalt, daß das gleichartige Fluidum in allen Theilchen nach derselben Seite hin gekehrt ist. Und hiernach kann freilich an dem einen Ende nur das eine, an dem zweiten nur das andere Fluidum vorhanden sein. Beide Flüssigkeiten, die im gewöhnlichen Stahl und Eisen, und zwar in jedem Molecül desselben, mit einander (zur Indifferenz) verbunden sind, werden dann durch die Einwirkung eines Magnets so von einander geschieden, wie dies im letzteren schon geschehen ist. So gefaßt wird die Annahme zweier entgegengesetzter (magnetischer) Flüssigkeiten innerhalb gewisser Grenzen zu denselben Resultaten führen, wie unsere oben aufgestellte Ansicht, obwohl die letztere außerdem, wie ich glaube, besser dem Detail der Thatsachen entspricht, und zugleich naturgemäßer erscheint. Die magnetischen Fundamentalerscheinungen weisen eigentlich nur auf einen polaren Zustand der kleinsten Massentheilchen hin,

der wahrscheinlich in der Constitution der letzteren ursprünglich begründet ist. Jede Art von Materie kann dann das magnetische Princip, oder die Bedingung zum Entstehen des Magnetismus in sich enthalten. Soll aber die magnetische Polarität wirklich hervortreten, so ist noch die besondere, bereits angegebene Anordnung der Bestandtheile der Massentheilchen erforderlich, und viele Körper können blos deshalb unmagnetisch erscheinen, weil diese Anordnung sich unter den gewöhnlichen Umständen nicht herstellen läßt.

Die elektrischen Erscheinungen weisen dagegen entschiedener auf ein besonderes Fluidum hin, das nicht blos an die Atome gebunden ist, sondern auch von einem Atom (der Materie) zum anderen übergehen kann. Alle elektrischen Erscheinungen lassen sich zurückführen auf eine gewisse Anordnung und auf gewisse Bewegungsverhältnisse der unter sich gleichartigen Elemente dieses Fluidums (Elektricums), welche unter gewöhnlichen Umständen die Massentheilchen der Materie sphärenartig einhüllen *). Geht die Elektricität in der Form eines Stromes durch die Masse eines Körpers, so kann sie den ungleichartigen Bestandtheilen desselben eine bestimmte Richtung und Anordnung verleihen, und dieselben damit aus dem Zustande chemischer Indifferenz erwecken, so daß sie in der Form des Magnetismus nach Außen wirken **). Hiernach stellt ein von der Elektricität durchströmter Leiter einen Magneten dar, insofern die ungleichartigen Bestandtheile seiner Massentheilchen durch die Einwirkung der bewegten Elektricität nach bestimmten Richtungen auseinandertreten. Hat nun der Schließungsdraht einer galvanischen Kette oder Säule die Form einer Spirale, in welcher sich ein Eisenstab befindet, so werden die polarisirten Massentheilchen des ersteren direct auf die Massentheilchen des Eisens wirken und den letzteren eine entsprechende Anordnung zu ertheilen streben, wodurch dann das Eisen selbst, so weit dieses Bestreben Erfolg hat, magnetisch wird.

Wenn ein Körper in den Wirkungskreis eines Magnetpols geräth, so werden die Magnetkraftlinien, welche von dem letzteren ausgehen, den Massentheilen dieses Körpers eine solche Anordnung zu geben suchen, wie es das Gesetz der magnetischen Vertheilung verlangt. Dabei werden aber die Sphären, welche das Elektricum um die Massentheilchen des Körpers gebildet hat, nicht in Ruhe verharren können; sie werden aus ihrer Gleichgewichtslage verschoben, und die Elemente des Elektricums gehen von einem Massentheilchen zum anderen über, falls der Körper einen in sich geschlossenen Leiter darstellt. Die Elektricität tritt also in diesem Körper unter dem Einflusse des Magnetpols in der Form eines elektrischen Stromes auf, der indessen wieder verschwindet, sobald die Elemente des Elektricums in einen neuen Gleichgewichtszustand eingetreten sind. Dieser neue Gleichgewichtszustand erhält sich aber nur so lange, als der Einfluß des ruhenden Magnetismus dauert. Wird der magnetische Einfluß gesteigert, so entsteht eine abermalige Verschiebung (und Bewegung) des Elektricums in demselben Sinne. Wird aber der magnetische Einfluß schwächer oder ganz entfernt, so kehren die elektrischen Elemente theilweise oder ganz in ihre anfängliche Gleichgewichtslage zurück, und zwar natürlicher Weise in einer Richtung, welche derjenigen entgegen-

*) Vergl. Art. Elektricität, Galvanismus &c.
**) Art. Elektromagnetismus. Bd. II. S. 819 ff.

gesetzt ist, in welcher sie diese Gleichgewichtslage verlassen haben. Durch das Entstehen und Verschwinden des Magnetismus in der Nachbarschaft eines Körpers entstehen also in diesem elektrische Ströme von entgegengesetzten Richtungen. Und ganz dasselbe findet statt, wenn man den Pol eines Magneten einem Körper nähert und ihn dann wieder von demselben entfernt. Während der Annäherung des Magnetpols entsteht nämlich im Körper ein elektrischer Strom, der sich bei der Entfernung desselben in den entgegengesetzten verwandelt. Diese durch die Wirkung des Magnetismus erweckten Ströme sind nun eben die sogenannten Inductionsströme. Man unterscheidet aber noch von den elektrischen Strömen, welche durch den gewöhnlichen Magnetismus hervorgebracht und deshalb magnetelektrische Ströme genannt werden, solche, welche ein von der Elektricität durchflossener Leiter in einem anderen geschlossenen Leiter hervorbringt. Bei der Annäherung und Entfernung dieser beiden Leiter entstehen ebenfalls zwei Ströme von entgegengesetzten Richtungen. Und diese Art von Induction elektrischer Ströme nennt man die Volta-Induction *). Da aber ein von der Elektricität durchströmter Leiter magnetisch polar ist, so kann derselbe in ganz ähnlicher Weise wie ein gewöhnlicher Magnet in einem benachbarten Leiter das elektrische Gleichgewicht stören und dadurch elektrische Ströme veranlassen.

So lange nun der Inductionsstrom in einem Körper dauert, wird derselbe auch seine Wirkung auf die Massentheilchen des Körpers ausüben, deren ungleichartige Bestandtheile je nach der Richtung des Stromes in bestimmter Ordnung aus einander treten und dadurch magnetisch polar werden. Demgemäß wird auch eine bestimmte magnetische Wechselwirkung zwischen dem inducirenden und dem der Induction unterworfenen Körper stattfinden. Die polarisirten Massentheilchen eines Magnets streben (mittelst ihrer Magnetkraftlinien) den Massentheilchen eines benachbarten Körpers eine dem Magneten entsprechende Anordnung zu ertheilen, indem die ungleichartigen Bestandtheile des Körpers angezogen, die gleichartigen dagegen zurückgestoßen werden. Hat nun dieses Bestreben Erfolg, so entsteht in dem Körper dem Magnetpol gegenüber allemal der ungleichnamige Pol und es wird dann zwischen beiden eine Anziehung stattfinden. Dies ist der Vorgang der gewöhnlichen magnetischen Vertheilung. Da aber durch die Wirkung der Magnetkraftlinien zugleich die Elemente des Elektricums, welche um die Massentheilchen des betreffenden Körpers gruppirt sind, aus ihrer Gleichgewichtslage verschoben werden, und hierdurch ein elektrischer Strom entsteht, welcher den Massentheilchen des Körpers ebenfalls magnetische Polarität verleiht; so kann die Richtung dieses zunächst auftretenden elektrischen Inductionsstromes von der Art sein, daß die von ihm bewirkte Anordnung der Massentheilchen die entgegengesetzte von jener ist, welche durch die directe Wirkung der magnetischen Kraftlinien angestrebt wird. Hat nun die letztere das Uebergewicht, oder ist die Gruppirung der kleinsten Massentheilchen in einem Körper so beschaffen, daß die ungleichartigen Bestandtheile desselben leicht eine den Magnetpolen entsprechende Anordnung gewinnen können, so erscheint dieser Körper magnetisch in gewöhnlichem Sinne. Ist dagegen das Uebergewicht auf Seiten des gleichzeitig aufgeregten elektrischen Stromes, so tritt die von diesem bewirkte Anordnung der

*) Art. Induction, elektrische. Bd. IV. S. 8 ff.

Massentheilchen entschiedener hervor, so daß dann im Körper dem betreffenden Magnetpol gegenüber ein gleichnamiger Pol entsteht. Es wird also zwischen beiden eine Abstoßung stattfinden, wie dies auch meist geschieht, wenn ein leicht beweglicher Körper in die Nähe eines starken Magnetpols gebracht wird. Solche Körper nun, welche auf diese Weise (durch den von den Magnetkraftlinien angeregten elektrischen Strom) magnetisch polar werden, sind die sogenannten diamagnetischen Körper. Die gewöhnlichen Inductionsströme würden hiernach zur Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen vollkommen ausreichen, wenn sie nicht momentan wieder verschwänden, während doch die diamagnetische Ablenkung dauernd ist, so lange der betreffende Körper unter dem Einflusse des Magnets steht. W. Weber *) nimmt deshalb zur Erklärung dieser Erscheinungen inducirte elektrische Molecularströme an, welche um die einzelnen Molecüle (Massentheilchen) stattfinden und ungeschwächt fortdauern sollen, während die in größeren Kreisen sich bewegenden elektrischen Inductionsströme beim Vorübergehen an den Molecülen des Leiters ihre lebendige Kraft schnell verlieren und daher in sehr kurzer Zeit zur Ruhe gelangen. Solche Molecularströme sind auch nach unserer Theorie sehr wohl zulässig. Wenn die elektrischen Sphären der Massentheilchen eines Körpers durch die Kraftlinien eines Magnetpols nach einer gewissen Seite hin verschoben werden, so können dieselben dadurch auch zu einer Drehung um die Massentheilchen, ihre Centralpunkte, veranlaßt werden. Durch diese drehende Bewegung des Elektricums kann aber den Bestandtheilen der Molecüle eben wohl Richtung und Polarität verliehen werden, und zwar in demselben Sinne, als durch das in größeren Kreisen strömende Elektricum, falls nur die Bewegungsrichtung im Allgemeinen dieselbe ist. Während also ein Theil der elektrischen Elemente von einem Molecül zum anderen übergeht und den gewöhnlichen Inductionsstrom bildet, der bald zur Ruhe gelangt, geräth gleichzeitig der andere Theil in eine länger andauernde Drehung um die Molecüle selbst, wodurch die diamagnetischen Erscheinungen bedingt werden. Bei einem schlechten Leiter der Elektricität aber, um dessen Molecüle die elektrischen Elemente beharrlicher gruppirt sind, ist der Uebergang der letzteren von einem Molecül zum anderen erschwert, und hier ist es möglich, daß die elektrischen Sphären blos in eine Rotationsbewegung gerathen, indem sie gewissermaßen von zwei Kräften angeregt sind, nämlich von einer tangentialen, welche von den magnetischen Kraftlinien herrührt, und von einer centralen, in Folge der Anziehung zwischen den Molecülen des Körpers und den Elementen des Elektricums, vermöge deren die letzteren in ihre Gleichgewichtslage zurückzukehren streben.

Nach unserer Theorie bringen also die magnetischen Kraftlinien, welche von den Polen eines Magnets ausgehen, eine Störung in den elektrischen Sphären der Massentheilchen hervor, während sie den Bestandtheilen der letzteren eine dem Magneten entsprechende Anordnung zu geben suchen. Indem nun das zur Bewegung angeregte oder bewegte Elektricum seinerseits den Massentheilchen eine bestimmte Richtung zu ertheilen sucht, die bezüglich der Inductions- und diamagnetischen Erscheinungen die entgegengesetzte von derjenigen ist, welche die Magnetkraftlinien direct den Bestandtheilen der Molecüle zu geben streben, wird dadurch

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 241.

mittelbar ein gewisser Gegensatz zwischen den Wirkungen des Magnetismus und der Elektricität hervorgerufen.

Die eben betrachteten elektrischen Molecularströme haben indessen bei Weber eine andere Bedeutung. Derselbe verwendet sie im Sinne der Ampère'schen Theorie zu der Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen. In dieser Theorie (Art. Elektromagnetismus Bd. II. S. 812) werden bekanntlich die magnetischen Erscheinungen auf die directe Wechselwirkung elektrischer Ströme zurückgeführt, welche die Massentheilchen der magnetischen Körper in bestimmter Richtung umkreisen. In den Körpern, welche der gewöhnlichen magnetischen Vertheilung fähig sind, z. B. im Eisen, werden die schon vorhandenen Molecularströme durch die Wirkung eines Magnetpols einander parallel und den Molecularströmen des Magnets mehr oder weniger gleich gerichtet, woraus dann Anziehung folgt. Dagegen sollen in den sogenannten diamagnetischen Körpern durch den Magnetpol beharrliche Molecularströme inducirt werden, welche im Vergleich mit den inducirenden Strömen des Magnets entgegengesetzte Richtung haben, so daß dann die diamagnetische Abstoßung aus der Wechselwirkung entgegengesetzter elektrischer Ströme hervorgeht. Da diese inducirten Molecularströme aber der anziehenden und abstoßenden Wirkung der Molecularströme des Magnets unterliegen, so müssen sie auch vermöge dieses Einflusses mit den Molecularströmen des Magnets gleiche Richtung annehmen, was den magnetischen Zustand der betreffenden Körper zur Folge haben müßte. Deshalb ist ein beliebiges Hinderniß für die Drehung der Körpertheilchen und der damit verbundenen inducirten Molecularströme erforderlich, ein Hinderniß, das aber nicht die Entstehung dieser Ströme betreffen darf. Auch sollen nach dieser Ansicht die Molecüle der diamagnetischen Körper, z. B. des Wismuths, bestimmte in sich zurücklaufende Bahnen (oder Canäle) enthalten, in welchen die elektrischen Fluida ohne Widerstand beweglich sind, während diese Fluida in allen anderen Bahnen nur mit Ueberwindung eines ihrer Geschwindigkeit proportionalen Widerstandes sich bewegen können.

Faraday äußerte zuerst die Ansicht, die er jedoch später nicht festgehalten hat, daß die diamagnetischen Erscheinungen nach Ampère's Theorie darin ihre Erklärung finden könnten, „daß während im Eisen und in dergleichen magnetischen Körpern Ströme parallel mit den im inducirenden Magnet oder galvanischen Apparat vorhandenen inducirt würden, im Wismuth, schwerem Glase und den übrigen diamagnetischen Körpern Ströme von entgegengesetzter Richtung aufträten. Dies würde den Strömen in diamagnetischen Körpern gleiche Richtung geben mit denen, welche zu Anfange des inducirenden Stromes in diamagnetischen Leitern inducirt werden, und den in magnetischen Körpern gleiche mit denen, welche beim Aufhören desselben inducirenden Stromes entstehen. Hinsichtlich nicht leitender magnetischer und diamagnetischer Substanzen würde keine Schwierigkeit entspringen, weil die hypothetischen Ströme nicht in der Masse, sondern rings um die Theilchen der Substanz angenommen werden." Diese Ansicht wurde dann von W. Weber *) zu einer Theorie in dem angedeuteten Sinne ausgebildet.

---

*) Elektrodynamische Maßbestimmungen insbesondere über Diamagnetismus, in den Abhandlungen der königl. sächs. Societ. der Wissensch., 1852. Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 145. 152.

Wenn wir nun auch hier davon absehen, daß dieselben elektrischen Ströme, welche den Pol eines Magnets darstellen, entgegengesetzte Wirkungen auf dieselben elektrischen Massen in den sogenannten magnetischen und diamagnetischen Körpern ausüben, ein Gegensatz, der, wie es scheint, nicht allein durch die materielle Verschiedenheit dieser Körper begründet werden kann, so ist doch nicht zu übersehen, daß die Ampère'sche Theorie des Magnetismus gerade in Hinsicht auf ihr Grundprincip der nöthigen Evidenz entbehrt, insofern es nämlich bei ihr darauf ankommt, die diamagnetischen Erscheinungen aus der Wechselwirkung entgegengesetzter elektrischer Massen abzuleiten. Diese Erscheinungen folgen zwar dem Anscheine nach sehr einfach aus gewissen Grundgesetzen der Elektrodynamik; aber es ist sehr fraglich, ob die Anziehung und Abstoßung, welche man zwischen zwei beweglichen Stromleitern je nach der Richtung der elektrischen Ströme unter Umständen beobachtet, von der Wechselwirkung dieser in den beiden Leitern vorhandenen Ströme herrührt, oder ob nicht vielmehr durch diese Ströme eine von der Elektricität selbst unterschiedene magnetische Polarität der Massentheilchen veranlaßt wird, welche die beobachteten Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen der Leiter zur Folge hat. Im letzteren Falle läßt sich dann die Sache so fassen, wie wir es im Art. Elektromagnetismus Bd. II. S. 815 ff., (vergl. auch S. 813 ff.) und hier (im Anfange dieser Betrachtungen) dargelegt haben. Außerdem hat (in Ampère's Theorie) die Annahme von Molecularströmen, welche die Massentheilchen des Stahls oder Eisens fortwährend umkreisen sollen, ihr Bedenkliches, wofern nicht eine elektromotorische Ursache nachgewiesen wird, welche die elektrische Strömung fortdauernd unterhält. Sonst müssen die beiden entgegengesetzt elektrischen Zustände, welche in jedem einmal entstandenen Molecularstrome sich begegnen, nach dem, was man von dem Verhalten der Elektricität erfahrungsmäßig weiß, zur Ausgleichung gelangen, gesetzt auch, ein solcher Strom fände auf seiner Bahn gar keinen Widerstand. — Hinsichtlich einiger hierher gehöriger Punkte verweisen wir auf einen anderen Ort, wo auch unsere obige Theorie der elektrischen Inductions- und der diamagnetischen Erscheinungen weiter erörtert ist *).

Nach unserer Theorie sind Magnetismus und Diamagnetismus wesentlich dasselbe. Bringt man einen des Magnetismus fähigen Körper, z. B. ein Stück Eisen in die Nähe eines Magnetpols, so bewirkt dieser durch seine Kraftlinien eine solche Anordnung der kleinsten Massentheile des Eisens, daß das ihm zunächst zugekehrte Ende des letzteren den ungleichnamigen Magnetpol, das abgekehrte Ende aber den gleichnamigen erhält. Wird dagegen ein sogenannter diamagnetischer Körper, z. B. ein Wismuthstäbchen, vor den Pol eines starken Magnets gebracht, so hat die Action des gleichzeitig (durch die Wirkung der Magnetkraftlinien) erregten elektrischen Stromes das Uebergewicht, so daß die von ihm angestrebte Anordnung und Polarität der Massentheilchen hervortritt. Da nun diese Anordnung, gemäß der Richtung des Stromes, die entgegengesetzte von jener ist, welche die Magnetkraftlinien direct (nach dem Gesetze der gewöhnlichen magnetischen Vertheilung) hervorzubringen streben, so entsteht dem betreffenden Magnetpol gegen-

*) Die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus, Versuch einer theoretischen Ableitung der elektrischen und magnetischen Erscheinungen. Von C. S. Cornelius. Leipzig 1855, bei O. Wigand. S. 192.

über im Wismuthstäbchen ein gleichnamiger Pol, und hiermit zugleich am entgegengesetzten Ende der ungleichnamige Pol. Der ganze Unterschied zwischen Magnetismus und Diamagnetismus beruht also hiernach blos auf der entgegengesetzten Anordnung der kleinsten Massentheilchen der betreffenden Körper, und auf der hiermit verbundenen umgekehrten Lage der Pole.

Verschiedene Physiker haben nun eine solche Polarität der diamagnetischen Körper, die allerdings im Vergleich zu der der gewöhnlichen magnetischen Körper nur sehr schwach ausgeprägt ist, experimental nachzuweisen gesucht. Reich *) fand zunächst, daß der Nord- und Südpol zweier Magnete, wenn sie von derselben Seite her zugleich auf ein Stück Wismuth wirken, dasselbe nicht mit der Summe der Kräfte abstoßen, welche sie einzeln ausüben würden, sondern nur mit der Differenz dieser Kräfte. Weber **) hing eine symmetrisch magnetisirte kleine Magnetnadel an einen Coconfaden in einer gewissen Entfernung von einem starken Magneten auf, so daß des letzteren Drehungsmoment auf die Nadel durch ein anderes gleich großes, aber entgegengesetztes Drehungsmoment eines der Nadel von der entgegengesetzten Seite her genäherten Stabmagnets compensirt wurde. Auf diese Weise ließ sich bewirken, daß die Nadel ihren ursprünglichen Stand und ihre ursprüngliche Schwingungsdauer (Empfindlichkeit) wieder erhielt, und daß es in Beziehung auf diese Nadel eben so war, wie wenn gar kein Magnet auf sie wirkte. Wurde nun das eine Ende eines Wismuthstabes an das Nordende des starken Magnets gebracht, während sein anderes Ende dem Nordende der Magnetnadel genähert wurde, so ward letzteres angezogen. Wurde aber dasselbe Ende des Wismuthstabes an das Südende des starken Magnets gebracht, so wurde das Nordende der Magnetnadel von dem anderen ihm genäherten Ende des Wismuthstabes abgestoßen. Diese Versuche wurden mehrfach abgeändert, wobei jedoch immer die Kraft des Wismuths an anderen Magnetpolen als dem, welcher den diamagnetischen Zustand des Wismuths bestimmt, beobachtet wurde. Ueberall schien sich der Satz zu bestätigen, daß Wismuth auf solche Pole stets entgegengesetzt wie Eisen an seiner Stelle wirkt, daß es also abstößt, wo das Eisen anzieht, und anzieht wo das Eisen abstößt, kurz, daß an anderen Magnetpolen als dem Pol, welcher das Wismuth diamagnetisirt, eben so häufig anziehende wie abstoßende Kräfte des Wismuths beobachtet werden.

Besitzt aber das diamagnetisirte Wismuth in der angegebenen Weise Polarität, so muß dasselbe auch elektrische Ströme in einen benachbarten Leiter inducirem können. Um so inducirte Ströme wirklich zu beobachten, wurde auf die kreisförmige Endfläche eines starken Elektromagneten, der durch einen constanten Strom erhalten wurde, eine hohle Spirale aus übersponnenem Kupferdraht befestigt, welche auf schickliche Weise mit einem Commutator und Galvanometer in Verbindung war. Hierauf wurde ein Wismuthstab abwechselnd in die Höhlung der Kupferspirale hineingeschoben und herausgezogen. Das Galvanometer zeigte dann sowohl beim Hineinschieben als auch beim Herausziehen des Wismuths einen schwachen elektrischen Strom an. Diese beiden Ströme hatten entgegengesetzte Richtungen. Als das Wismuth mit einem dünnen Eisenstäbchen vertauscht wurde,

*) Pogg. Ann Bd. LXXIII. S. 60.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 244.

so zeigte das Galvanometer den entgegengesetzten Ausschlag, so daß das Wismuth einen positiven Strom inducirte unter den nämlichen Verhältnissen, unter welchen das Eisen einen negativen, oder einen Strom in entgegengesetzter Richtung inducirte, und umgekehrt.

Poggendorff *) näherte einem Wismuthstäbchen, während es neben dem einen Pol, z. B. dem Nordpol eines kräftigen Elektromagnets, an einem Coconfaden in äquatorialer Lage hing, von derselben Seite her den Südpol eines kleinen Stahlmagnets. Bei einiger sich leicht ergebender Vorsicht ließ sich dann deutlich sehen, daß die dem elektromagnetischen Pol zugewandte Seite des Stäbchens vom Stahlmagnete angezogen wurde. Poggendorff hält es für gut, den Versuch an der vom Südpol des Elektromagnets abgewandten Seite anzustellen, damit dieser Pol den Pol des Stahlmagnets nicht schwäche oder gar umkehre. Statt des Stahlmagnets kann mit Vortheil auch ein kleiner Elektromagnet angewendet werden. — Ein zweites Verfahren von Poggendorff zur Nachweisung der Polarität des diamagnetisirten Wismuths weicht von dem vorigen darin ab, daß man den Stahlmagnet durch einen galvanischen Strom ersetzt. Das Wismuthstäbchen wird zu dem Ende zwischen beiden Polen des Elektromagnets aufgehängt, und zwar innerhalb eines Drahtgewindes, dessen Windungen das Stäbchen, bei seiner äquatorialen Stellung, rechtwinklig umgeben würden. Ein Strom, der, ohne daß man den Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt hat, durch dieses Drahtgewinde geleitet wird, wirkt nicht auf den Wismuthstab; so wie aber der Elektromagnet zur Wirksamkeit gelangt ist, und den Stab in äquatoriale Lage gebracht hat, kann man letzteren durch den Strom aus dieser Lage ablenken, rechts und links, je nach der Richtung des Stroms, und zwar immer in dem Sinne, wie die Ablenkung erfolgen muß, wenn die Seiten des Stabes gleiche Polarität mit den ihnen zugewandten Magnetpolen besitzen. Die Wirkung ist im Ganzen schwach, aber unverkennbar. Antimon und Phosphor verhielten sich ähnlich.

Ein einfaches Mittel, welches Plücker **) fand, um den Diamagnetismus schwingender Körper zu verstärken, scheint ebenfalls auf eine wirkliche Polarität der betreffenden Körper hinzuweisen. Dieses Mittel besteht darin, daß man nahe unter dem schwingenden Wismuthstabe einen äquatorial gerichteten Eisenstab in die Mitte zwischen die beiden Pole des Hufeisenmagnets bringt und in dieser Lage festhält. Der Wismuthstab strebt sich dann mit größerer Kraft in die äquatoriale Lage zu stellen, und es läßt sich auch nach der Schwingungsmethode das Verhältniß bestimmen, in welchem die diamagnetische Richtkraft durch die Anbringung des Eisenstabes zugenommen hat.

Faraday hat sich gegen die Existenz einer solchen Polarität auf Grund gewisser Versuche erklärt ***). Auch Hankel ****) lieferte ein Fragment einer Theorie des Diamagnetismus, nach welcher die betreffenden Erscheinungen ihre Ursache in einer Art indifferenter Abstoßung der Körper von Seiten der Magnetpole haben sollen. Wenn die von den letzteren ausgehenden Wirkungen (Magnetkraftlinien) eine in ihrer Bahn beliebig gelegene Substanz zu durchdringen stre-

*) Ann. Bd. LXXIII. S. 475.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 613.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 75. 232.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 110.

ben, so sollen sie an dieser einen Widerstand finden, den er mit einer Reibung vergleichen möchte. Durch diesen Widerstand wird ein Theil der Magnetkraftlinien aufgehalten oder vernichtet. Der von dem eingeschalteten Körper erzeugte Widerstand wird nun an die Masse desselben übertragen werden, und ein leicht beweglich aufgehangener Körper muß in Folge dessen eine Richtung annehmen, in welcher die von zwei oder mehreren Magnetpolen ausgehenden Kraftlinien sich hinsichtlich dieses Widerstandes oder der dadurch auf den Körper übertragenen Kräfte im Gleichgewichte befinden. Hierauf gestützt suchte derselbe die Resultate der oben berührten Versuche zu erklären. Wenn man z. B. wie in dem Reich'schen Versuche zwei ungleichnamige Magnetpole von derselben Seite her einer beweglichen Wismuthkugel nähert, so werden die magnetischen Kraftlinien eine andere Lage annehmen und vorzugsweise von einem Pole zum anderen übergehen, so daß die jetzt noch auf die Wismuthkugel gelangenden wenigen Kraftlinien dieselbe ungefähr mit der Differenz beider Magnetpole abzustoßen scheinen.

Plücker *) und Weber **) haben indessen später noch weitere Versuche in dieser Beziehung angestellt, so daß die Ansicht von einer wirklichen Polarität der diamagnetisirten Körper nunmehr wenigstens zu einem hohen Grade der Wahrscheinlichkeit erhoben ist. Ein Wismuthstab erscheint innerhalb einer Spirale, durch welche ein galvanischer Strom fließt, in der That als ein vollständiger Magnet, dessen Pole nur im Vergleich zu einem hineingesteckten Eisenstabe die umgekehrte Lage haben. Nach einem Versuche Plücker's scheint das Wismuth in der Nähe eines Magnetpols nicht nur polarisch zu werden, sondern auch seine Polarität, nachdem die Erregung aufgehört hat, noch eine Zeit lang zu behalten, oder das Wismuth scheint Zeit zu gebrauchen, um seine Pole umzukehren ***).

Magnetismus der Erde. Die Magnetnadel zeigt nur an wenigen Orten der Erde mit ihrem Nordende genau nach dem geographischen Nordpole, sondern bald nach einer östlich, bald nach einer westlich von dem wahren Nordpunkte gelegenen Stelle. Eine durch die Axe der ruhigen Magnetnadel gelegte verticale Ebene ist die Ebene des magnetischen Meridians, und diese Ebene bildet also mit der Ebene des astronomischen Meridians bald einen östlich, bald einen westlich liegenden Winkel. Dieser Winkel heißt der Deklinationswinkel, und dies Eigenthümliche der Magnetnadel, den astronomischen Meridian unter verschiedenen Winkeln zu schneiden, die Deklination oder Abweichung der Magnetnadel. Ueber das Specielle der Deklination handelt Art. Abweichung, magnetische, Bd. I. S. 47, über die Bestimmung derselben, theilweise wenigstens, Art. Deklinatorium Bd. II. S. 461; wegen des Näheren der Variationsbestimmung vergl. Art. Magnetometer.

Eine fernere Eigenthümlichkeit der Magnetnadel ist die Neigung oder Inklination, welche darin besteht, daß eine vor dem Magnetisiren im Schwerpunkte unterstützte Nadel, die sich in einer verticalen Ebene bewegen kann, nach

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 1. 6.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 145. 168.

***) In Bezug auf Diamagnetismus kann auch noch verglichen werden: v. Feilitzsch in Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 90.; Bd. LXXXVII. S. 206. Thomson: Phil. Magaz. Ser. III. Vol. 37. p. 211. Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 245. Tyndall: Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 189.

dem Magnetisiren nicht mehr in jeder Lage im Gleichgewichte bleibt, sondern, wenn ihre Schwingungsebene in der Ebene des magnetischen Meridians liegt, an jedem Orte einen bestimmten Winkel mit dem Horizonte bildet. Das Nähere hierüber enthält der Art. Neigung und über die Bestimmung derselben handelt der Art. Inklinatorium, Bd. IV. S. 85.

Läßt man ein und dieselbe Deklinationsnadel schwingen, indem man dieselbe aus ihrer Ruhelage bringt und sich dann selbst überläßt, so macht sie an verschiedenen Orten in derselben Zeit eine verschiedene Anzahl Schwingungen. Vergleicht man die an zwei verschiedenen Orten gewonnenen Resultate mit einander, so ergiebt sich, unter Anwendung der für Pendelschwingungen geltenden Gesetze (s. Art. Pendel), das Verhältniß der die Schwingungen verursachenden Kraft, oder die relative Stärke oder Intensität des Magnetismus. Ein ähnliches Verhalten zeigt eine im magnetischen Meridiane schwingende Inklinationsnadel.

Hält man eine Stange von weichem Eisen in der Richtung, welche eine an einem Faden aufgehängte Inklinationsnadel (s. Eingang des Art. Inklinatorium) annimmt, sobald sie zur Ruhe gekommen ist, also in der Richtung der in dem magnetischen Meridiane ruhig stehenden Inklinationsnadel, so wird eine kleine bewegliche Magnetnadel in unseren Gegenden an dem oberen Ende der Stange mit dem Nordpole und an dem unteren Ende derselben mit dem Südpole angezogen, und zwar auch dann noch, wenn man die Eisenstange umkehrt, ein Beweis, daß diese Wirkung keine der Eisenstange bleibend inwohnende ist, sondern in derselben erst hervorgerufen wurde durch die besondere Richtung, welche dieselbe erhielt.

Betrachten wir diese Erscheinungen näher, so kommen wir zu dem Schlusse, daß es gerade so sei, als ob die Erde selbst ein Magnet wäre, oder als ob sich an gewissen Stellen der Erde magnetische Pole befänden. Denn legen wir einen großen Stabmagnet so in den magnetischen Meridian, daß sein Südpol nordwärts und sein Nordpol südwärts liegt, und stellen eine kleine bewegliche Magnetnadel östlich oder westlich in ungleiche Entfernung von den beiden Polen des Stabmagneten, so erhalten wir an der Magnetnadel Deklinationserscheinungen; stellen wir die Magnetnadel über den Stabmagneten in ungleiche Entfernung von den beiden Polen, so treten die Inklinationserscheinungen auf; versetzen wir die auf oder über dem Stabmagneten stehende Magnetnadel in Schwingungen, so zeigen sich die Intensitätserscheinungen, und nähern wir einen Draht von weichem Eisen den Polen des Stabmagnets, so beobachten wir an dem abgewendeten Ende dasselbe, wie vorher bei dem in der Richtung der Inklinationsnadel gehaltenen Stabe weichen Eisens.

Diese Analogie ist Veranlassung gewesen, die Erde selbst als einen Magneten anzusehen, und in diesem Sinne spricht man von Magnetismus der Erde.

Nehmen wir diese Analogie als eine Identität an, so müssen wir dem im Norden der Erde befindlichen magnetischen Pole die dem Nordpole der Magnetnadel entgegengesetzten Eigenschaften zusprechen und eben so dem im Süden der Erde liegenden die dem Südpole der Magnetnadel entgegengesetzten, d. h. im Norden der Erde liegt ein magnetischer Südpol und im Süden ein magnetischer Nordpol. Da es naturgemäßer scheint den im Norden

der Erde liegenden magnetischen Pol als Nordpol und den im Süden liegenden als Südpol zu bezeichnen, so müßte man die Pole der Magnetnadel eigentlich umtaufen und den in Deutschland sogenannten Nordpol der Nadel den Südpol und den Südpol den Nordpol nennen. Die Franzosen haben diese Umtaufung in der That vorgenommen; wir bleiben jedoch bei der bei uns eingebürgerten Bezeichnungsweise stehen.

In diesem Jahrhunderte hat man die Untersuchung des Erdmagnetismus mit großem Eifer betrieben. Die Beobachtungsmethoden sind sorgfältig geprüft, neue Instrumente construirt, welche zuverlässige Resultate ergeben, die Stationen genauer Beobachtungen sind vermehrt, über alle Theile der Erde verbreitet und mit einander in Verbindung gesetzt, so daß an allen Stationen zum Theil gleichzeitige Beobachtungen angestellt werden, und eine theoretische Grundlage ist gewonnen worden, welche durch Benutzung der Beobachtungsresultate sich immer mehr entwickelt. Die Lehre von dem Magnetismus der Erde ist hierdurch aus ihrer untergeordneten Stellung herausgetreten.

Die Artikel: Abweichung, magnetische, Deklinatorium, Inklinatorium, Magnetometer und Neigung enthalten zum Theil das auf den Magnetismus der Erde bezügliche Material, allerdings nicht in aller Vollständigkeit, da dies nicht in dem Charakter dieses Werkes liegen kann, aber doch um hinreichende Einsicht in die Verhältnisse zu gewähren, und eben so bieten diese Artikel in Betreff der Instrumente das Hauptsächlichste. Nöthige Ergänzungen, namentlich wegen der Intensität, da derselben kein besonderer Artikel gewidmet ist, werden in diesem Artikel ihre Stelle finden. Wer vollständig die auf dem Gebiete des Erdmagnetismus gewonnenen Resultate kennen lernen will, den müssen wir hinweisen auf die Resultate des magnetischen Vereins. Göttingen 1836 ff.

Die möglichst vollständige Zusammenstellung der Erscheinungen auf dem Wege der Beobachtung ist nicht das Ziel der Wissenschaft; diese verlangt Unterwürfigkeit der verwickelten Erscheinungen unter ein Princip. Die Grundkräfte sind also im vorliegenden Falle zu erforschen nach ihrer Wirkungsart und nach ihren Größenwerthen, welche die Erscheinungen des Erdmagnetismus hervorbringen. Die zu Gebote stehenden Beobachtungen müssen sich aus dem zu Grunde gelegten Principe mit solcher Genauigkeit ableiten lassen, daß man im Stande ist wenigstens mit einem gewissen Grade von sicherer Annäherung die Erscheinungen für die Gegenden zu anticipiren, in welche die Beobachtung nicht hat dringen können.

Eine physikalische Grundlage kann man nun nur solchen Versuchen zugestehen, welche die Erde wie einen wirklichen Magneten betrachten und die erwiesene Wirkungsart eines Magnets in die Ferne allein der Rechnung unterwerfen. Es sind also alle diejenigen Versuche, zu dem hier vorliegenden Ziele zu gelangen, verwerflich, bei denen nicht im Voraus untersucht wurde, wie dieser große Magnet beschaffen sein müsse, um den Erscheinungen Genüge zu leisten, sondern von vorn herein von einer bestimmten einfachen Beschaffenheit ausgegangen und probirt wurde, ob die Erscheinungen sich mit der aufgestellten Hypothese vertrügen.

Nimmt man an, der Magnetismus sei in der Erde so vertheilt, daß die Gesammtwirkung nach außen der Wirkung eines fingirten unendlich kleinen Magnets äquivalire, der im Mittelpunkte der Erde wäre, ungefähr eben so wie bei

der Gravitation, so stimmen die Resultate nur sehr wenig mit den Resultaten der Beobachtung.

Tobias Mayer nahm nach Euler's Vorgange*) einen unendlich kleinen Magneten an, der um $^1/_7$ des Erdradius von dem Mittelpunkte der Erde entfernt sein und dessen Aequatorialebene durch diesen Mittelpunkt gehen sollte. Die Berechnungen der Deklination stimmten bei einigen Oertern sehr gut mit den Beobachtungen überein, aber eine ausgedehntere Prüfung, namentlich auch durch Intensitätsbestimmungen, die zu jener Zeit noch gänzlich fehlten, zeigte die Unhaltbarkeit dieser Hypothese.

Hansteen**) versuchte die Hypothese zweier unendlich kleinen Magnete von ungleicher Lage und Stärke den Erscheinungen anzupassen: aber es ergaben sich bei Vergleichung der durch Rechnung gewonnenen Resultate mit den Beobachtungen doch zu bedeutende Differenzen, z. B. bei der Inklination bis zu 13°, als daß man die aufgestellte Theorie als befriedigend hätte gelten lassen können.

Aus der Mangelhaftigkeit der eben aufgeführten Hypothesen, die allerdings ihr Gutes gehabt haben, indem durch dieselben der Gegenstand immer mehr Interesse gewann, geht hinreichend hervor, daß die magnetische Beschaffenheit der Erde nicht derartig ist, daß eine Concentrirung in einen einzigen oder in ein Paar einzelne unendlich kleine Magnete als Stellvertreterin gelten kann. Für eine größere Zahl von fingirten Magneten würde man vielleicht zuletzt eine genügende Uebereinstimmung erhalten; aber die Rechnung würde mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen haben. Dieser Weg erinnert übrigens an die Versuche, die Bewegungen der Planeten durch immer mehr gehäufte Epicykeln zu erklären, und darum war es rathsam, diesen Weg ganz zu verlassen. Historisch sei nur noch bemerkt, daß 1804 Biot eine Darstellung der Neigungsbeobachtungen zu geben versuchte unter der Annahme, daß der magnetische Aequator ein größter Kreis sei und daß in der Axe desselben in gleichen Entfernungen von dem Mittelpunkte der Erde zwei Centra anziehender und abstoßender Kräfte — ein südliches und ein nördliches — sich befänden, welche die Magnetpole der Erde vorstellten. Eben so möge Mollweide***) erwähnt werden, obgleich er die Lehre vom Magnetismus wenig förderte, da er sich an Euler's Theorie anschloß, und Steinhäuser****), der um die Periodicität der magnetischen Erscheinungen zu erläutern, im Innern der Erde einen Magneten annahm, welcher als selbstständiger Planet — Minerva oder Pluto — in der Entfernung von 0,2 des Erdhalbmessers unter der Oberfläche der Erde in einem Zeitraume von 440 Jahren seinen Umlauf beendigen sollte.

Durch Versuche, welche P. Barlow*****) über die Verbreitung des Magnetismus über die Oberfläche eiserner Kugeln anstellte, wurde der Gedanke angeregt, daß auch unsere Erde nur auf ihrer Oberfläche magnetisch sein möchte.

---

*) Hist. de l'Acad. roy. de Berlin. Ann. 1757. p. 175; 1766. p. 213.

**) Untersuchungen über den Magnetismus der Erde, übersetzt von P. Treschow Hanson. Christiania 1819. Vergl. Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. VI. S. 1048 ff.

***) Gilbert's Ann. Bd. LXX. S. 26.

****) Gilbert's Ann. Bd. LVII. S. 393; Bd. LXI. S. 75; Bd. LXV. S. 267; vergl. auch Jenaer Allg. Lit. Zeitg. 1818. Nr. 165.

*****) Phil. Transact. 1818.

Er fand nämlich, daß eine durch den magnetischen Einfluß der Erde magnetisirte massive Eisenkugel nicht stärker auf die Magnetnadel wirkte, als eine hohle Kugel von derselben Größe, deren Dicke kleiner als $1/_{300}$ des Durchmessers war. Wie und wodurch dieser Magnetismus erzeugt würde, blieb allerdings noch dahingestellt. Ampère *) vermuthete, daß die Erde durch einen elektrischen Strom magnetisch werde, welcher sie in Folge der scheinbaren Bewegung der Sonne um die Erde täglich in der Richtung von Ost nach West umfließe. Doch zunächst können wir diese Ideen nicht weiter verfolgen, und wir knüpfen daher wieder an den Ergebnissen der Barlow'schen Untersuchungen an.

Ist der Sitz des Magnetismus der Erde in der Erdoberfläche zu suchen, so könnte man eine hierauf hinzielende Hypothese aufstellen und deren Folgen vollständig mathematisch entwickelt mit der Erscheinung vergleichen. Auf diesem Wege hat Moser **), anknüpfend an eine Abhandlung von Barlow ***) über den Erdmagnetismus, einige merkwürdige Resultate zusammengestellt. Bei weitem wichtiger aber sind die Untersuchungen von Gauß ****) geworden, welcher rückwärts aus den Erscheinungen auf die wirkenden Kräfte und die Bedingungen, unter welchen sie wirken, schließt. Die Resultate, so unvollkommen sie auch noch sein müssen, geben doch einen Begriff davon, was man in Zukunft zu erreichen hoffen darf, wenn einer feineren und wiederholten Ausfeilung derselben recht zuverlässige und vollständige Beobachtungen aus allen Gegenden untergelegt werden können. Es ist seitdem sehr viel geschehen, um zuverlässige Resultate zu gewinnen, und man nähert sich nun immer mehr dem von Gauß gesteckten Ziele.

Die Arbeit von Gauß ist zwar eines Auszuges nicht fähig, so daß wir auf das Original verweisen müssen; indessen wollen wir der Wichtigkeit des Gegenstandes wegen wenigstens einige ausführlichere Andeutungen über den Inhalt geben.

1) Die Kraft, welche einer in ihrem Schwerpunkte aufgehängten Magnetnadel an jedem Orte der Erde eine bestimmte Richtung ertheilt, — natürlich mit Beseitigung aller äußeren künstlichen Einwirkungen — nennt man die erdmagnetische Kraft, insofern man den Sitz ihrer Ursache nur in dem Erdkörper selbst suchen kann.

Zweifelhaft ist der Sitz der Ursachen zu den regelmäßigen und unregelmäßigen stündlichen Variationen; da diese Variationen verhältnißmäßig sehr klein sind, so muß eine viel stärkere, beharrlich wirkende Hauptkraft in der Erde selbst da sein. Die thatsächlichen Grundlagen zur Untersuchung dieser Grundkraft können nur durch Mittelwerthe aus zahlreichen fortgesetzten Beobachtungen erhalten werden, und so lange diese nicht von einer möglichst großen Anzahl von Punkten auf der ganzen Erdoberfläche vorhanden sind, kann man nur eine Annäherung erreichen, wobei Differenzen von der Ordnung der erwähnten Anomalien zurückbleiben können.

2) Die Voraussetzung, daß die erdmagnetische Kraft die Gesammtwirkung aller magnetischen Theile des Erdkörpers ist, bildet die Grundlage der ganzen

*) S. Art. Elektromagnetismus. Bd. II. S. 784.

**) Repertorium der Physik, von Dove 1838. Bd. II. S. 238—263.

***) Phil. Trans. 1831. Part. I.

****) Resultate des magn. Ver. 1838.

Untersuchung. Das Magnetisirtsein wird aufgefaßt als eine Scheidung der magnetischen Flüssigkeiten, worüber der Art. Magnetismus zu vergleichen ist.

3) Zur Abmessung der magnetischen Flüssigkeiten wird diejenige Quantität nördlichen Fluidums als positive Einheit zu Grunde gelegt, welche auf eine eben so große Quantität desselben Fluidums in der Einheit der Entfernung eine bewegende Kraft ausübt, die der zur Einheit angenommenen gleich ist *). Unter der magnetischen Kraft, die anderswo befindliche magnetische Flüssigkeit auf irgend einen Punkt des Raumes ausübt, wird die bewegende Kraft verstanden, welche daselbst auf die Einheit des positiven magnetischen Fluidums ausgeübt wird. Es übt also die in einem Punkte concentrirt gedachte magnetische Flüssigkeit μ in der Entfernung ϱ die magnetische Kraft $\frac{\mu}{\varrho^2}$ aus, abstoßend oder anziehend in der Linie ϱ, je nachdem μ + oder — ist. Ist nun der Punkt μ durch die drei rechtwinkeligen Coordinaten a, b und c, der Punkt, an welchem die Kraft ausgeübt wird, durch x, y und z bezeichnet, so ist

$$\varrho = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2}$$

und die Componenten der magnetischen Kraft nach den drei Coordinatenaxen werden:

$$\frac{\mu(x-a)}{\varrho^3},\ \frac{\mu(y-b)}{\varrho^3} \text{ und } \frac{\mu(z-c)}{\varrho^3},$$

d. h.

$$\frac{d\left(-\frac{\mu}{\varrho}\right)}{dx},\ \frac{d\left(-\frac{\mu}{\varrho}\right)}{dy},\ \frac{d\left(-\frac{\mu}{\varrho}\right)}{dz}.$$

Wirken außer μ noch die magnetischen Flüssigkeiten μ', μ'' ... aus den Entfernungen ϱ', ϱ'' ... auf den Punkt x, y, z, so sind die Componenten nach den drei Coordinatenaxen gleich den partiellen Differentialquotienten nach xyz von

$$-\left(\frac{\mu}{\varrho} + \frac{\mu'}{\varrho'} + \frac{\mu''}{\varrho''} \dots\right).$$

4) Man denke sich das ganze Volumen der Erde, so weit es freien Magnetismus, d. h. geschiedene magnetische Flüssigkeit enthält, in unendlich kleine Elemente zerlegt; die in jedem Elemente enthaltene Menge freien magnetischen Fluidums sei unbestimmt $d\mu$, wobei südlich stets als negativ zu betrachten ist; die Entfernung des $d\mu$ vom Punkte xyz im Raume sei ϱ; das Aggregat der $\frac{d\mu}{\varrho}$ über die Gesammtheit aller magnetischen Theilchen der Erde sei V, also:

$$V = -\int\frac{d\mu}{\varrho};$$

die magnetische Kraft in jedem Punkte des Raumes sei ψ, und ξ, η und ζ seien die den Axen parallelen Componenten, also:

$$\xi = \frac{dV}{dx},\ \eta = \frac{dV}{dy},\ \zeta = \frac{dV}{dz};\ \psi = \sqrt{\xi\xi + \eta\eta + \zeta\zeta}.$$

*) Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata. Götting. 1833. Vergl. auch Art. Magnetismus.

5) Alsdann ist

$$dV = \frac{dV}{dx}dx + \frac{dV}{dy}dy + \frac{dV}{dz}dz = \xi dx + \eta dy + \zeta dz.$$

Wenn die Punkte, auf welche sich V und V + dV beziehen, um ds entfernt sind, und Θ der Winkel zwischen der Richtung der magnetischen Kraft Ψ und dem ds ist, so ist

$$dV = \Psi . \cos\Theta . ds.$$

6) Verbindet man zwei Punkte P^0 und P' im Raume durch eine beliebige Linie, deren unbestimmtes Element ds ist, und ist Θ wieder der Winkel zwischen ds und der Richtung der dort stattfindenden magnetischen Kraft und Ψ deren Intensität, so ist

$$\int \Psi . \cos\Theta \, ds = V' - V^0,$$

wenn $\int$ sich über die ganze Linie erstreckt und V^0 und V' die Werthe von V in $P^0 \, V \, P'$ sind. Daraus ergiebt sich:

I. $\int \Psi \cos\Theta ds$ behält denselben Werth, auf welchem Wege man auch von P^0 nach P' geht.

II. $\int \Psi \cos\Theta . ds = o$, wenn es sich auf die ganze Länge einer in sich zurückkehrenden Linie erstreckt.

III. In einer geschlossenen Linie muß, wenn nicht durchgehends $\Theta = 90^0$ ist, ein Theil der Θ kleiner, ein anderer Theil größer als 90^0 sein.

7) Die Fläche, in deren sämmtlichen Punkten $V = V^0$ ist, scheidet die Punkte des Raumes, in welchen $V > V^0$ ist, von denen, wo $V < V^0$ ist. Ein isolirter Punkt oder eine isolirte Linie, um den oder um die rings herum nur kleinere oder nur größere Werthe von Θ stattfinden würden, oder auch eine Fläche, auf deren beiden Seiten zugleich kleinere oder zugleich größere Werthe gälten, ist nicht möglich.

Da für solche Grenzflächen $\frac{dV}{ds} = o$ sein soll, wenn s in der Fläche liegt, so muß $\Psi \cos\Theta = o$ sein, d. h. Ψ oder die magnetische Kraft hat in jedem Punkte der Fläche eine zu derselben senkrechte Richtung und zwar nach der Seite zu, auf welcher die größeren Werthe von V stattfinden. Ist nun ds eine unendlich kleine gegen die Fläche senkrechte Linie und $V^0 + dV^0$ der Werth am anderen Endpunkte des ds, so ist die Intensität der magnetischen Kraft $\frac{dV^0}{ds}$. Die Gesammtheit aller Punkte, in denen $V = V^0 + dV^0$ ist, liegt auf einer zweiten der ersten unendlich nahen Fläche, und an den verschiedenen Stellen des Zwischenraums ist die Intensität der magnetischen Kraft der Entfernung beider Flächen von einander umgekehrt proportional. Läßt man nun V sich durch unendlich kleine, aber gleiche Stufen ändern, so bekommt man ein System von Flächen, die den Raum in unendlich dünne Schichten theilen, und die umgekehrte Proportionalität der Dicke der Schichten zu der Intensität der magnetischen Kraft gilt dann nicht blos für verschiedene Stellen einer und derselben Schicht, sondern auch für verschiedene Schichten.

Nachdem Gauß diese allgemeinen Resultate gewonnen hat, geht er zu dem horizontalen Theile der erdmagnetischen Kraft über.

8) ist im Punkte P der Erdoberfläche Ψ die Intensität und PM die Richtung der ganzen magnetischen Kraft; ω die Intensität und PN die Richtung der auf die Horizontalebene projicirten magnetischen Kraft; $i = \sphericalangle MPN$; P′ ein unendlich naher Punkt der Erdoberfläche; $PP' = ds$; $P'PM = \Theta$; $P'PN = \iota$; so ist $\cos \Theta = \cos i \cos \iota$ und $\omega = \Psi \cos i$, mithin nach Nr. 5, wenn V dem P und $V + dV$ dem P′ entspricht,

$$dV = \omega \cos . \iota . ds.$$

Sind also zwei Punkte der Erdoberfläche P^0 und P', in denen V die Werthe V^0 und V' hat, durch irgend eine ganz auf der Erdoberfläche liegende Linie verbunden, deren unbestimmtes Element ds ist, so ist:

$$\int \omega \cos . \iota . ds = V' - V^0,$$

wenn die Integration sich über die ganze Linie erstreckt. Auch hier gelten wie in Nr. 6:

I. $\int \omega \cos . \iota . ds$ behält seinen Werth, wie man auch auf der Erdoberfläche von P^0 nach P' gehe.

II. $\int \omega \cos . \iota . ds = o$, für die ganze Länge einer auf der Erdoberfläche liegenden geschlossenen Linie.

III. In einer geschlossenen Linie muß, wenn nicht durchgehends $\iota = 90^0$ ist, ein Theil der Werthe von ι kleiner, ein anderer größer als 90^0 sein.

9) I. und II. lassen sich näherungsweise an wirklichen Beobachtungen prüfen. Ist nämlich $P^0 P' P'' \ldots . P^0$ ein Polygon auf der Erdoberfläche, dessen Seiten die kürzesten Linien zwischen ihren Endpunkten sind, also größte Kreisbogen bei einer Kugeloberfläche; sind $\omega^0, \omega', \omega'' \ldots$ die Intensitäten der horizontalen magnetischen Kraft in den Ecken $P^0, P', P'' \ldots$; $\delta^0, \delta', \delta'' \ldots$ die zugehörigen Deklinationen und zwar westlich vom Nordpole als $> o$, östlich davon als $< o$ betrachtet; ist $(o . 1)$ das Azimuth der Linie $P^0 P'$ in P^0 und zwar von Süden nach Westen herumgezählt, also $(1 . 2)$ das der Linie $P' P''$ u. s. f., eben so $(1 . 0)$ das Azimuth der Linie $P^0 P'$, rückwärts genommen im Punkte P′ u. s. f., so ändert sich ι in jeder Polygonseite stetig, in den Eckpunkten hingegen sprungweise, so daß man hier zwei Werthe erhält, z. B. in P′ als Endpunkt von $P' P^0$ ist $\iota = (1 . 0) + \delta'$ und als Endpunkt von $P' P'' = 180^0 + (1 . 2) + \delta'$.

Nun giebt $\int \omega \cos . \iota . ds$ über $P^0 P'$ ausgedehnt näherungsweise:

$$\tfrac{1}{2} (\omega^0 \cos . \iota^0 + \omega' \cos . \iota') \, P^0 P',$$

wo ι^0, ι' die Werthe von ι in P^0 als Anfangspunkt und in P′ als Endpunkt von $P^0 P'$ bedeuten. Setzt man diese Werthe von ι ein, so erhält man:

$$= \tfrac{1}{2} [\omega' \cos ((1.0) + \delta') - \omega^0 \cos ((0.1) + \delta^0)] \, P^0 P'$$

eben so für $P' P''$

$$= \tfrac{1}{2} [\omega'' \cos ((2.1) + \delta'') - \omega' \cos ((1.2) + \delta')] \, P' P'' \text{ u. s. f.};$$

folglich erhält man für ein Dreieck näherungsweise nach 8. II:

$$\omega^0 \, [P^0 P' \cos ((0.1) + \delta^0) - P^0 P'' \cos ((0.2) + \delta^0)] +$$
$$+ \, \omega' \, [P' P'' \cos ((1.2) + \delta') - P' P^0 \cos ((1.0) + \delta')] +$$
$$+ \, \omega'' \, [P'' P^0 \cos ((2.0) + \delta'') - P'' P' \cos ((2.1) + \delta'')] = 0.$$

10) Eine Probe, angestellt für Göttingen, Mailand und Paris, ergiebt aus den beobachteten Intensitäten zu Göttingen und Mailand eine Intensität für Paris = 0,51696, fast übereinstimmend mit der beobachteten 0,51804.

11) Die horizontale magnetische Kraft ist in jedem Punkte der Linie auf der Erdoberfläche, in deren sämmtlichen Punkten V einen bestimmten Werth V^0 hat, die also die Theile der Fläche, in welchen $V > V^0$ ist, von denen scheidet, in welchen $V < V^0$ ist, senkrecht auf derselben und zwar nach der Seite hingerichtet, wo V den größeren Werth hat. Ist ds eine unendlich kleine Linie in dieser Richtung und $V^0 + dV^0$ der Werth von V in ihrem anderen Endpunkte, so ist $\frac{dV^0}{ds}$ die Intensität der horizontalen magnetischen Kraft an dieser Stelle.

Auch hier bildet die Gesammtheit der Punkte, denen der Werth $V^0 + dV^0$ entspricht, eine zweite der ersten unendlich nahe Linie, es wird also hierdurch auf der Erdoberfläche eine Zone ausgesondert, innerhalb deren V Werthe hat, die zwischen V^0 und $V^0 + dV^0$ liegen, und wo die horizontale Intensität der Breite der Zone umgekehrt proportional ist. Es wird demnach — wenn man V durch unendlich kleine, aber gleiche Stufen von dem kleinsten auf der Erdoberfläche stattfindenden Werthe bis zum größten sich ändern läßt — die ganze Erdoberfläche in eine unendlich große Anzahl unendlich schmaler Zonen abgetheilt, gegen deren Scheidungslinie die horizontale magnetische Kraft stets normal und in ihrer Intensität der Breite der Zonen an den betreffenden Stellen umgekehrt proportional ist. Den beiden äußersten Werthen von V entsprechen hierbei zwei von den Zonen eingeschlossene Punkte, in welchen die horizontale magnetische Kraft o ist, und wo also die ganze magnetische Kraft vertical wird. Die Punkte heißen die magnetischen Pole der Erde.

Die Scheidungslinien der Zonen sind nur die Schnitte der unter Nr. 7 betrachteten Flächen mit der Erdoberfläche, während in den Polen nur Berührung stattfindet.

12) Diese Gestaltung des Liniensystems ist der einfachste Typus, welcher allerdings mancherlei Ausnahmen bei verschiedener Vertheilung des Magnetismus der Erde erleiden könnte; aber auf der Erde gehen die Ausnahmefälle nicht ins Große, sind höchstens local und jene Gestaltung findet auf der Erde wirklich statt.

Die Pole sind also die Punkte der Erdoberfläche, an denen die horizontale Intensität o, oder die Inklination = 90° ist, eingeschlossen den besonderen Fall — wenn er vorkäme —, daß die ganze Intensität = o ist *).

Im Allgemeinen, d. h. abgesehen von der Erde, kann es zwei oder mehrere Pole geben. Sind zwei Nordpole vorhanden, so liegt zwischen beiden noch ein dritter, der Nord- und Südpol zugleich ist, d. h. weder das Eine noch das Andere; eben so bedingen zwei Südpole das Dasein eines dritten Poles, der Süd- und Nordpol zugleich ist oder weder das Eine noch das Andere.

---

*) Duperrey (Ann. chim. et phys. T. XXX. p. 347. Pogg. Ann. Bd. VIII. S. 175) versteht unter dem magnetischen Pole der Erde den Punkt, an welchem die Intensität ein Maximum ist; und wo dieselbe ein Minimum ist, da ist nach demselben der magnetische Aequator. Aber die Linie der kleinsten Intensität liegt nach Hansteen (Pogg. Ann. Bd. XXVIII; Astron. Nachr. 1831. Nr. 209) wahrscheinlich im südlichen Afrika, nimmt nur einen mehr oder minder ausgedehnten Strich ein und schneidet nicht alle Meridiane.

13) Der Inbegriff aller Punkte, an denen V einen bestimmten Werth hat, kann eine aus mehreren Stücken bestehende Linie sein, wovon jedes in sich zurückkehrt, oder eine sich selbst kreuzende Linie, oder eine solche, auf deren beiden Seiten Flächenräume liegen, wo V zugleich größer oder zugleich kleiner ist als in der Linie. — Auf der Erde finden große Abweichungen solcher Art vom einfachsten Typus nicht statt; nur locale Abweichungen sind denkbar.

14) Auf der Erdoberfläche ist V eine Function der geographischen Länge λ, gezählt von einem ersten Meridiane nach Osten hin, und der Distanz u von dem Nordpole her. Die Erde selbst wird angesehen als ein Umdrehungsellipsoid von einer um die kleine Axe gedrehten Ellipse, deren halbe große Axe R und halbe kleine $(1 - \varepsilon)$ R ist. Sieht man nun von der sphäroidischen Gestalt der Erde ab, da es noch an ausreichenden Beobachtungsdaten fehlt; so reduciren sich die entwickelten allgemein gültigen Resultate für die Componenten der horizontalen magnetischen Kraft: X in der Richtung des Erdmeridians — positiv, wenn sie nach Norden gerichtet ist — und Y senkrecht auf den Erdmeridian und positiv, wenn sie nach Westen gerichtet ist, auf folgende Werthe:

$$X = -\frac{dV}{R\,du}, \quad Y = -\frac{dV}{R \sin u \, . \, d\lambda}.$$

15) Da V eine Function von u und λ ist, so ist es auch X, und aus X läßt sich Y a priori ableiten. Man erhält dann:

$$Y = \frac{1}{\sin u} \int_0^u \frac{dX}{d\lambda}\, du.$$

16) Wenn die nach Norden gerichtete Componente der horizontalen erdmagnetischen Kraft für die ganze Erdoberfläche gegeben ist, so folgt die nach Westen oder Osten gerichtete Componente von selbst daraus. Kennt man die Componente der horizontalen magnetischen Kraft in der Richtung nach Westen für die ganze Erdoberfläche und die nach Norden gerichtete Componente derselben für alle Punkte einer den Südpol mit dem Nordpole verbindenden Linie, so folgt daraus die letzte Componente von selbst.

17) Nun geht Gauß auf die allgemeine Aufgabe ein, welche außer der horizontalen magnetischen Kraft auch die verticale umfaßt.

V ist eine Function von drei Größen, welche den Werth des Punktes O im Raume bestimmen, nämlich von r und λ, wo r die Entfernung des Punktes O von dem Mittelpunkte der Erde, u der Winkel zwischen r und der nach Norden gerichteten Erdaxe und λ der Winkel zwischen der Ebene durch r und die Erdaxe und einem festen Meridiane, positiv nach Osten zu gezählt, ist.

Allgemein ist:

$$V = \frac{R^2 P^0}{r} + \frac{R^3 P'}{r^2} + \frac{R^4 P''}{r^3} + \frac{R^5 P'''}{r^4} + \ldots,$$

wo $P^0, P' \ldots$ Functionen von u und λ sind.

Wegen der näheren Entwickelung müssen wir auf das Original verweisen; eben so wegen des Nachweises,

18) daß $P^{(n)}$ ein Aggregat von $2n + 1$ Theilen ist in folgender Weise:

$$P^{(n)} = g^{n,0} \cdot P^{n,0} + (g^{n,1}\cos\lambda + h^{n,1}\sin\lambda) P^{n,1} + (g^{n,2}\cos 2\lambda + h^{n,2}\sin 2\lambda) P^{n,2} + \\ + \ldots + (g^{n,n}\cos n\lambda + h^{n,n}\sin n\lambda) P^{n,n},$$

wo $g^{n,0}$, $g^{n,1} \ldots$, $h^{n,1}$, $h^{n,2} \ldots$ bestimmte Zahlencoefficienten sind.

19) Zerlegt man die im Punkte O stattfindende magnetische Kraft in drei auf einander senkrechte X, Y und Z, von denen die dritte nach dem Mittelpunkte der Erde gerichtet ist, X und Y also die durch O gelegte mit der Erde concentrische Kugelfläche berühren, X in der durch O und die Erdaxe gelegten Ebene nach Norden, Y parallel dem Erdäquator nach Westen liegt, so ist

$$X = -\frac{dV}{r\,du}; \quad Y = -\frac{dV}{r\sin u\,d\lambda}; \quad Z = -\frac{dV}{dr}$$

folglich

$$X = -\frac{R^3}{r^3}\left(\frac{dP'}{du} + \frac{R}{r}\frac{dP''}{du} + \frac{R^2}{r^2}\frac{dP'''}{du} + \ldots\right)$$

$$Y = -\frac{R^3}{r^3 \sin u}\left(\frac{dP'}{d\lambda} + \frac{R}{r}\frac{dP''}{d\lambda} + \frac{R^2}{r^2}\frac{dP'''}{d\lambda} + \ldots\right)$$

$$Z = +\frac{R^3}{r^3}\left(2P' + \frac{3RP''}{r} + \frac{4R^2P'''}{r^2} + \ldots\right)$$

Auf der Erdoberfläche sind X und Y dieselben horizontalen Componenten, wie in Nr. 14; Z vertical und positiv, wenn es nach unten gerichtet ist, also erhält man für die Erdoberfläche, wo $R = r$ ist:

$$X = -\left(\frac{dP'}{du} + \frac{dP''}{du} + \frac{dP'''}{du} + \ldots\right)$$

$$Y = -\frac{1}{\sin u}\left(\frac{dP'}{d\lambda} + \frac{dP''}{d\lambda} + \frac{dP'''}{d\lambda} + \ldots\right)$$

$$Z = 2P' + 3P'' + 4P''' + \ldots.$$

20) Da nun jede $f(u,\lambda)$, die für alle λ von 0° bis 360° und u von 0° bis 180° endlich ist, in eine Reihe

$$P^0 + P' + P'' + \ldots.$$

entwickelt werden kann, deren allgemeines Glied $P^{(n)}$ der Differentialgleichung

$$o = n(n+1)P^{(n)} + \frac{d^2P^{(n)}}{du^2} + \cot.u\frac{dP^{(n)}}{du} + \frac{1}{\sin^2 u}\frac{d^2P^{(n)}}{d\lambda^2}$$

genügt, und zwar nur auf eine Weise und immer convergent, so ergeben sich folgende Resultate:

I. Die Kenntniß des Werthes V in allen Punkten der Erdoberfläche reicht hin, um daraus den allgemeinen Ausdruck von V für den ganzen unendlichen Raum außerhalb der Erdfläche abzuleiten, und somit auch die Bestimmung der X, Y, Z für den ganzen unendlichen Raum außerhalb der Erdfläche.

Wird V nur auf die Erdoberfläche bezogen, so wird $R = r$ und V in Nr. 17 wird:

$$V = R(P' + P'' + P''' + \ldots).$$

II. Die Kenntniß von X genügt, um alles in I. Verlangte zu erhalten.

III. Eben so reicht die Kenntniß des Y auf der ganzen Erde, verbunden mit

der des X in allen Punkten einer von einem Pole zum anderen laufenden Linie zur Begründung der vollständigen Theorie des Erdmagnetismus aus.

IV. Eben dies ist der Fall mit Z.

21) Diese X, Y, Z sind also viel geeigneter zur Grundlage der Theorie, als der gewöhnliche Ausdruck der magnetischen Kraft durch die drei Elemente der Intensität, Deklination und Inklination; die letztere Art — bei der Auffassung der Thatsachen zwar natürlich erscheinend — kann vielmehr unmittelbar gar nicht zur ersten Begründung der Theorie dienen, ehe sie nicht in die andere Form übersetzt ist. Brauchbarer zur Theorie ist daher eine graphische Darstellung der horizontalen Intensität, als der ganzen Intensität, die überdies aus jener, als der beobachteten, berechnet wird.

Später wird man sich lediglich auf Beobachtungen an der horizontalen Nadel beschränken können, was jetzt wegen Mangelhaftigkeit der Data noch nicht angeht.

22) Der Grad der Convergenz der Reihen für X, Y, Z und V läßt sich nicht a priori ableiten. Je weiter die Sitze der magnetischen Kräfte sich vom Mittelpunkte der Erde bis gegen die Oberfläche derselben erstrecken, um so langsamer ist die Convergenz und um so mehr Glieder sind daher zu berücksichtigen, wenn man einen gewissen Grad der Genauigkeit erreichen will. Führt man die Rechnung bis zu P^{IV}, so sind nicht weniger als 24 Coefficienten zu bestimmen und zu dieser Bestimmung sind die vollständigen Beobachtungen von nicht weniger als 8 Oertern erforderlich. Wegen der Weitläufigkeit dieses Weges, zumal unzuverlässige Beobachtungsstücke das Resultat verderben können, ist ein anderer zu versuchen.

23) Gauß schlägt nun einen Weg ein, der allerdings in seinen Resultaten nur als ein erster Versuch gelten kann. Hierbei wird die Kenntniß aller drei Elemente vorausgesetzt in Punkten, die auf einer hinreichenden Anzahl von Parallelkreisen so gruppirt sind, daß jeder Parallelkreis dadurch in eine hinlängliche Anzahl gleicher Stücke getheilt wird.

Wegen des Näheren müssen wir auf das Original verweisen.

24) Der eingeschlagene Weg ist nur ein erster Versuch; aber da eine scharfe Vergleichung der Resultate mit den Beobachtungen zeigen wird, ob derselbe nicht ganz mißlungen ist, so wird er jedenfalls neue Versuche vorbereiten helfen. Das Mißliche ist hierbei, daß man nicht auf unmittelbare Beobachtungen fußen kann, sondern eine graphische Darstellung zu Hülfe nehmen muß, da die Beobachtungsorte nicht gerade so liegen, wie es vorausgesetzt wird.

25) Der Versuch konnte erst zur Ausführung kommen, als die Karte von Sabine für die ganze Intensität erschien *), ferner Barlow's Deklinations-Karte **) und Horner's Inklinations-Karte ***). Die Rechnung wurde ausgeführt für je 12 Punkte auf 7 Parallelkreisen und bis zu Gliedern der vierten Ordnung fortgesetzt, so daß 24 Coefficienten zu bestimmen waren. Weiter zu gehen, war wegen der unzuverlässigen Data unmöglich.

*) Repert. of the British assoc. for the advanc. of scien. VII.; vergl. auch: An account of Experim. to determine the figure of the Earth. London 1825. p. 460.

**) Phil. Transact. 1833.

***) Gehler's Wörterb. N. B. Bd VI. Tab. XXIV.

26) Die 24 Coefficienten, welche die Elemente der Theorie des Erdmagnetismus bilden, sind nun folgende, wobei jedoch zu bemerken ist, daß die Bruchtheile eigentlich überflüssig sind, da nicht einmal bei den Einern auf Zuverlässigkeit zu rechnen ist, allein Gauß bemerkt, daß es von Wichtigkeit ist, daß die Beobachtungen mit einem und demselben bestimmten System von Elementen verglichen werden, und da war kein Grund vorhanden, an dem, was die Rechnung ergeben hatte, etwas zu verändern, weil durch Weglassung der Decimalbrüche für die Bequemlichkeit der Vergleichungsrechnungen gar nichts gewonnen sein würde. — Die Längen λ sind von Greenwich östlich genommen, und die Intensität ist tausend Mal größer gesetzt als bei Sabine, z. B. statt 1,372 in London 1372.

$g^{1,0} = + 925{,}782 \quad g^{1,1} = + 89{,}024 \quad g^{2,2} = + 0{,}493$
$g^{2,0} = - 22{,}059 \quad g^{2,1} = - 144{,}913 \quad g^{3,2} = - 73{,}193$
$g^{3,0} = - 18{,}868 \quad g^{3,1} = + 122{,}936 \quad g^{4,2} = - 45{,}791$
$g^{4,0} = - 108{,}855 \quad g^{4,1} = - 152{,}589 \quad g^{3,3} = + 1{,}396$
$g^{4,3} = + 19{,}773$
$g^{4,4} = + 4{,}127.$

$h^{1,1} = - 178{,}744 \quad h^{2,2} = - 39{,}010$
$h^{2,1} = - 6{,}030 \quad h^{3,2} = - 22{,}766$
$h^{3,1} = + 47{,}794 \quad h^{4,2} = + 42{,}573 \quad h^{4,3} = + 4{,}127$
$h^{4,1} = + 64{,}112 \quad h^{3,3} = - 18{,}750 \quad h^{4,4} = + 3{,}175.$

27) Die entwickelten Ausdrücke für V, X, Y und Z, aus denen man die Deklination δ, Inklination i, horizontale Intensität ω, ganze Intensität Φ nach folgenden Formeln findet:

$$X = \omega \cos \delta,\ Y = \omega \sin \delta,\ \omega = \Phi \cos i,\ Z = \Phi \sin i,$$

sind nun folgende, wobei nur zu bemerken ist, daß $\cos u = e$ und $\sin u = f$ gesetzt ist:

$$\begin{aligned}
\frac{V}{R} = &- 1{,}977 + 937{,}103\, e + 71{,}245\, e^2 - 18{,}868\, e^3 - 108{,}855\, e^4 \\
&+ (64{,}437 - 79{,}518\, e + 122{,}936\, e^2 + 152{,}589\, e^3)\, f . \cos \lambda \\
&+ (- 188{,}303 - 33{,}507\, e + 47{,}794\, e^2 + 64{,}112\, e^3)\, f . \sin \lambda \\
&+ (7{,}035 - 73{,}193\, e - 45{,}791\, e^2)\, f^2 \cos 2\lambda \\
&+ (- 45{,}092 - 22{,}766\, e - 42{,}573\, e^2)\, f^2 \sin 2\lambda \\
&+ (1{,}396 + 19{,}774\, e)\, f^3 \cos 3\lambda \\
&+ (- 18{,}750 - 0{,}178)\, f^3 \sin 3\lambda \\
&+ 4{,}127\, f^4 \cos 4\lambda \\
&+ 3{,}175\, f^4 \sin 4\lambda
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X = &\ (937{,}103 + 142{,}490\, e - 56{,}603\, e^2 - 435{,}420\, e^3)\, f \\
&+ (- 79{,}518 + 181{,}435\, e - 298{,}732\, e^2 - 368{,}808\, e^3 + 610{,}357\, e^4) \cos \lambda \\
&+ (- 33{,}507 + 283{,}892\, e + 259{,}349\, e^2 - 143{,}383\, e^3 + 256{,}448\, e^4) \sin \lambda \\
&+ (- 73{,}193 - 105{,}652\, e + 219{,}579\, e^2 + 183{,}164\, e^3)\, f . \cos 2\lambda \\
&+ (- 22{,}766 + 175{,}330\, e + 68{,}098\, e^2 - 170{,}292\, e^3)\, f . \sin 2\lambda \\
&+ (19{,}774 - 4{,}188\, e - 79{,}096\, e^2)\, f^2 \cos 3\lambda \\
&+ (- 0{,}178 + 56{,}250\, e + 0{,}716\, e^2)\, f^2 \sin 3\lambda \\
&- 16{,}508\, e\, f^3 \cos 4\lambda \\
&- 12{,}701\, e\, f^3 \sin 4\lambda
\end{aligned}$$

$$Y = (188{,}303 + 33{,}507\,e - 47{,}794\,e^2 - 64{,}112\,e^3)\cos\lambda$$
$$+ (64{,}437 - 79{,}518\,e + 122{,}936\,e^2 - 152{,}589\,e^3)\sin\lambda$$
$$+ (90{,}184 + 45{,}532\,e - 85{,}146\,e^2)\,f.\cos 2\lambda$$
$$+ (14{,}070 - 146{,}386\,e - 91{,}582\,e^2)\,f.\sin 2\lambda$$
$$+ (56{,}250 + 0{,}534\,e)\,f^2\cos 3\lambda$$
$$+ (4{,}188 + 59{,}322\,e)\,f^2\sin 3\lambda$$
$$- 12{,}701\,f^3\cos 4\lambda$$
$$+ 16{,}508\,f^3\sin 4\lambda$$

$$Z = -24{,}593 + 1896{,}847\,e + 400{,}343\,e^2 - 75{,}471\,e^3 - 544{,}275\,e^4$$
$$+ (79{,}700 - 107{,}763\,e + 491{,}744\,e^2 - 762{,}946\,e^3)\,f\cos\lambda$$
$$+ (-395{,}724 - 155{,}473\,e + 191{,}176\,e^2 + 320{,}560\,e^3)\,f.\sin\lambda$$
$$+ (34{,}187 - 292{,}772\,e - 228{,}955\,e^2)\,f^2\cos 2\lambda$$
$$+ (-147{,}439 - 91{,}064\,e + 212{,}865\,e^2)\,f^2\sin 2\lambda$$
$$+ (5{,}584 + 98{,}870\,e)\,f^3\cos 3\lambda$$
$$+ (-75{,}000 - 0{,}890\,e)\,f^3\sin 3\lambda$$
$$+ 20{,}635\,f^4\cos 4\lambda$$
$$+ 15{,}876\,f^4\sin 4\lambda.$$

28) Zur leichteren Berechnung sind Hülfstafeln berechnet, deren Einrichtung darauf beruht, daß man den Componenten folgende Form gegeben hat:

$$X = a^0 + a'\cos(\lambda + A') + \ldots + a^{(n)}\cos(n\lambda + A^{(n)}) + \ldots$$
$$Y = b'\cos(\lambda + B') + \ldots + b^{(n)}\cos(n\lambda + B^{(n)}) + \ldots$$
$$Z = c^0 + c'\cos(\lambda + C') + \ldots + c^{(n)}\cos(n\lambda + C^{(n)}) + \ldots$$

29) Zur Vergleichung dieser Formeln mit den Beobachtungen werden Tafeln von 91 Punkten der Erde geliefert, entlehnt aus den bis 1838 erschienenen Karten. Leider sind die Beobachtungen nicht genau gleichzeitig.

30) Da die Uebereinstimmung allen billigen Erwartungen genügt, (der Unterschied in der beobachteten und berechneten Intensität ist z. B. nur an 10 Orten größer als 0,060 und nur an 2 Orten größer als 0,100), so kommt der Ausdruck $\frac{V}{R}$ wohl der Wahrheit nahe. Deshalb hat Dr. Goldschmidt eine Karte entworfen von dem Gange der numerischen Werthe von $\frac{V}{R}$, die wenigstens in ihrer ganzen Gestaltung keine wesentliche Aenderung erleiden dürfte.

Als Resultat stellt sich also heraus, daß das System von Linien gleicher Werthe von $\frac{V}{R}$ auf der Erdoberfläche wirklich den einfachsten Typus darstellt und daß in der That nur zwei magnetische Pole auf der Erde vorhanden sind. — Nach der Rechnung liegen diese Pole unter 73° 35′ n. Br. und 264° 21′ östl. L. von Greenwich mit einer ganzen Intensität = 1,701 und unter 72° 35′ s. Br. und 152° 30′ östl. Länge mit einer ganzen Intensität = 2,253. Ein durch beide Pole gehender größter Kreis schneidet den Aequator unter einem Winkel von 75° 35′ in 25° 46′ und 205° 46′ Länge. Die Verbindungssehne beider Pole überspannt einen Bogen von 161° 13′, und ein derselben paralleler Erddurchmesser schneidet die Erdoberfläche nördlich in 75° 52′ Br. und 299° 32′ L., südlich in 75° 52′ Br. und 119° 32′ L.

31) Der Verbindungssehne beider Pole irgend eine Bedeutung beizulegen, sie wohl gar magnetische Axe der Erde zu nennen, ist nicht zu billigen. Die magnetische Axe ist vielmehr *) eine gerade Linie, in Bezug auf welche das Moment des in der Erde enthaltenen Magnetismus ein Maximum ist. Die Richtung derselben würde mit der Verbindungssehne beider Pole einen Winkel von 2° 5' bilden und von 77° 50' n. Br. 296° 29' östl. L. nach 77° 50' s. Br. 116° 29' östl. L. gehen; das magnetische Moment in Bezug auf dieselbe ergiebt sich = 947,08 R^3 **). Es würden 8464 Trillionen einpfündige Magnetstäbe mit parallelen Axen erforderlich sein, um die magnetische Wirkung der Erde im äußeren Raume zu ersetzen, was bei gleichförmiger Vertheilung durch den ganzen körperlichen Raum der Erde 7,831 also beinahe 8 solche Magnetstäbe auf jedes Cubikmeter beträgt. Betrachten wir daher die Erde als einen wirklichen Magnet, so muß man durchschnittlich jedem $^1/_8$ Cubikmeter derselben eine so starke Magnetisirung beilegen, als ein solcher Magnetstab enthält.

32) Die Art der wirklichen Vertheilung bleibt unbestimmt; aber statt jeder beliebigen Vertheilung der magnetischen Flüssigkeiten innerhalb eines körperlichen Raumes kann allemal eine Vertheilung auf der Oberfläche des Raumes substituirt werden, so daß die Wirkung in jedem Punkte des äußeren Raumes genau dieselbe bleibt ***). Folglich kann aus unendlich vielen verschiedenen Vertheilungen der magnetischen Flüssigkeiten im Innern einerlei Wirkung im ganzen äußeren Raume abgeleitet werden. Ohne die wirkliche Vertheilung im Innern der Erde zu wissen, kann die fingirte auf der Erdoberfläche, da dieselbe eine Kugel ist, angegeben werden, und zwar wird die Dichtigkeit des magnetischen Fluidums in jedem Punkte der Erdoberfläche, d. h. das Quantum des magnetischen Fluidums, welches der Flächeneinheit entspricht, ausgedrückt durch

$$\frac{1}{4\pi}(3\,P' + 5\,P'' + 7\,P''' + 9\,P^{IV} + \ldots).$$

In dem Folgenden bespricht Gauß, was zur Vervollständigung der Theorie noch zu thun sei, und stellt an die Spitze die Forderung möglichst vieler genauer Beobachtungen aller drei Elemente. Durch Vergleichung der beobachteten und berechneten Resultate werde die aufgestellte Theorie sich immer mehr bewähren. Bestimmungen, wie sie von ihm gemacht worden, würden in der Folge wiederholt werden müssen; dadurch würde man die Veränderungen kennen lernen, welche mit der Erde in Beziehung auf ihren magnetischen Zustand im Ganzen, eben so wie im Einzelnen vorgehen, und so würde man zu einer Geschichte des Erdmagnetismus gelangen, ein Ziel, was ohne Theorie durch bloße Erfahrung zu erreichen unmöglich sei, weil bloße Erfahrungen zwar die Veränderungen vieler einzelner Wirkungen, nie aber die Veränderungen, welche das Ganze erleidet, kennen lehren.

Der Atlas des Erdmagnetismus von Gauß und Weber nach den Elementen der Theorie entworfen, Leipzig 1840, eröffnet die Reihe von Atlanten, welche in angemessenen Zwischenzeiten erscheinen sollen, um von nun

*) Vergl. Intens. vis magn. §. 5.
**) Vergl. Intens. vis magn. §. 21.
***) Intens. vis magnet. §. 2.

an die Grunddata der Geschichte des Erdmagnetismus vollständig und übersichtlich vor Augen zu legen. Weber hat die Erklärung des Atlas verfaßt, die alles vollständig giebt, was zum Verständniß der Karten und zur Beurtheilung des Nutzens, welchen sie leisten können, nöthig ist. Einsicht, ja Studium dieses Atlas ist unerläßlich, um den vorliegenden Gegenstand gehörig zu würdigen und den richtigen Standpunkt für sich zu gewinnen. Hier müssen wir uns damit begnügen, auf denselben hinzuweisen, und es sei nur bemerkt, daß der Atlas aus 9 Karten, jede in 3 Abtheilungen, besteht.

1) Vollständige Darstellung des Systems der Wirkungen des Erdmagnetismus auf der ganzen Erdoberfläche durch graphische Darstellung:

a) der Deklination, Inklination und ganzen Intensität;

b) der drei rechtwinkeligen Componenten der magnetischen Kraft;

c) der horizontalen Intensität in Verbindung mit der Darstellung der Deklination und verticalen Intensität.

2) Einfache graphische Darstellung von der gemeinsamen Ursache aller jener Wirkungen, indem eine Karte die ideelle Vertheilung des Magnetismus auf der Erdoberfläche vor Augen bringt.

3) Die einfachsten Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung und letzterer unter einander durch graphische Darstellung der Werthe von $\frac{V}{R}$ in einer Karte, die noch weiter als die erste ausgeführt ist.

Verbindet man auf einer Karte die Orte unter einander, welche zu gleicher Zeit dieselbe Deklination haben, so erhält man (Art. Abweichung, magnetische Bd. I. S. 48) die Linien gleicher Abweichung oder die isogonischen Linien. Im Allgemeinen ist die Deklination in Europa westlich und in Amerika und dem nördlichen Asien östlich, und zwar in der Weise, daß bei einer Reise von der Ostsee aus nach Westen man eine immer größere westliche Deklination finden würde, bis in dem atlantischen Oceane zwischen Irland und Nordamerika ein Maximum sich einstellt; von hier an wird die Deklination wieder kleiner, und in Nordamerika gelangt man zu Gegenden, in welchen die Nadel genau nordwärts gerichtet ist; weiter westlich fortschreitend beobachtet man eine östliche Deklination, anfangs immer größer werdend, bis dieselbe im stillen Ocean ebenfalls ein Maximum erreicht, indem sie bei fernerem Annähern an die asiatische Küste wieder kleiner wird, bis man im Inneren von Asien ebenfalls zu Gegenden ohne Abweichung kommt von denen dann westlich die Nadel wieder eine westliche Deklination zeigt, die bei westlichem Fortschreiten immer größer wird. Diese Verschiedenheit in der Richtung der Magnetnadel zeigt sich im Allgemeinen in den verschiedenen Breiten der Erde.

Verlängert man die magnetischen Meridiane verschiedener Orte der Erde bis zu ihrem Durchschnitte, so fallen die Durchschnittspunkte nicht in einem Punkte zusammen, wie dies bei den astronomischen Meridianen der Fall ist. Nur in der Nähe der Magnetpole der Erde ist eine derartige Convergenz, daß die verlängerten magnetischen Meridiane in einem Punkte zusammentreffen, und ein solcher Punkt

ist eben ein Pol. Hansteen hat die Lage des im Norden Amerikas befindlichen Poles durch sorgfältige Vergleichung der Beobachtungen zu ermitteln gesucht, und der Seefahrer Roß hat wirklich bei seiner in den Jahren 1829 bis 1833 in die nördlichsten Gegenden Amerikas unternommenen Entdeckungsreise in der Nähe der Repulsebay unter 70° 5′ 17″ n. Br. und 96° 45′ 18″ westl. L. von Greenwich diesen Pol gefunden. Die Magnetnadel durchläuft bei einer Reise um diesen Punkt die ganze Windrose, so daß nördlich von demselben das Ende der Nadel, welches bei uns nordwärts gerichtet ist, südwärts zeigt. In der unmittelbaren Nähe des Poles hatte die Magnetnadel ihre Richtkraft gänzlich verloren; erst in der Entfernung von mehreren Meilen zeigte sie wieder das Bestreben eine bestimmte Stellung einzunehmen.

Der im Süden der Erde liegende magnetische Pol ist auf der antarctischen Expedition, welche 1839 bis 1842 James Clark Roß ausführte, im Süden der Ostküste Neuhollands — allerdings ohne denselben selbst zu erreichen — in etwa 75° s. Br. und 154° östl. Länge ermittelt worden, so daß sich mithin die beiden Pole nicht diametral gegenüber liegen.

Die Punkte, an denen die Magnetnadel genau nach Norden und Süden gerichtet ist, liegen auf der Linie ohne Deklination. Es geht dieselbe durch die beiden Erdpole und die beiden magnetischen Pole und theilt die Erdoberfläche in zwei Theile, in deren einem, das östliche Amerika, den atlantischen Ocean, Europa und Afrika enthaltenden, westliche Deklination ist, während in dem anderen, fast ganz Asien, den stillen Ocean und den größten Theil Amerikas enthaltenden, östliche Deklination stattfindet. In dem nördlichen Asien, zwischen dem Werchojansker Gebirge, Jakutsk und dem nördlichen Korea bilden die isogonischen Linien ein merkwürdiges in sich geschlossenes System, in welchem die Deklinationen von außen nach innen zunimmt. In der Südsee, zwischen 20° nördlicher und 45° südlicher Breite, fast im Meridian von Pitcairn und den Marquesasinseln, wiederholt sich diese eiförmige Gestaltung regelmäßiger und in einem größeren Umfange, und zwar mit abnehmender Deklination nach innen hin. Ob locale Verhältnisse diese sonderbare Gestaltung veranlassen oder nicht, wird erst die Folge zeigen, wo sich herausstellen muß, ob diese Systeme sich fortbewegen oder stationär sind.

Wegen der secularen, jährlichen, monatlichen und täglichen Variationen vergl. Art. Abweichung, magnetische Bd. I. S. 82 ff.; wegen ihrer Bestimmung Art. Magnetometer. Hier mögen nur einige allgemeine Resultate eine Stelle finden.

Aus Beobachtungen Cassini's seit 1786 zu Paris ergab sich, daß zwischen dem Frühlingsäquinoctium und dem Sommersolstitium das Nordende der Magnetnadel sich weniger, und den neun übrigen Monaten mehr westlich stellte. Gilpin fand dies Gesetz bestätigt an Beobachtungen zu London um das Jahr 1800; aber die Amplitude der Veränderung fiel geringer aus. Arago hat hieraus und aus Beobachtungen Beaufoy's in England um das Jahr 1819 und Bowditch's zu Salem in Nordamerika folgende Schlüsse gezogen: Wenn die Deklination westlich ist und von Jahr zu Jahr zunimmt, so hat sie eine jährliche Veränderung und bewegt sich vom April bis Juli gegen Osten; die Amplitude dieser Oscillation nimmt desto mehr ab, je langsamer die seculäre Bewegung wird; sie verschwindet, wenn die Deklination die Grenze ihrer westlichen Bewegung erreicht; und wenn endlich die Deklination von Jahr zu Jahr abnimmt, so

bemerkt man wieder eine jährliche Oscillation, aber die Bewegung gegen Osten findet vom September bis December statt.

In Betreff der täglichen Veränderungen scheint hervorzugehen, daß in Europa sich das Nordende alle Tage von dem Aufgange der Sonne bis eine Stunde nach Mittag gegen Westen bewegt und dann gegen Osten zurückkehrt. Im Sommer ist die Amplitude dieser täglichen Schwankungen größer, als im Winter. Zwischen den Wendekreisen sind die täglichen Variationen kleiner, als in Europa. Auf der südlichen Halbkugel erfolgen die Variationen im entgegengesetzten Sinne. Arago*) hat darauf aufmerksam gemacht, daß es eine — bis jetzt allerdings noch nicht aufgefundene — Region der Erde geben müsse, wahrscheinlich zwischen dem terrestrischen und magnetischen Aequator, in welcher keine stündliche Veränderung der Deklination zu bemerken ist. Nach Lamont**) hat die tägliche Variation der Deklination eine 10jährige Periode. Dies erinnerte Wolf an die Schwabe'sche Sonnenfleckperiode und führte ihn zu der Entdeckung, daß diese Variationen genau dieselbe Periode innehalten, so daß, wenn für die Sonnenflecke ein Maximum oder Minimum eintritt, gerade auch für die Deklinationsvariationen ein Maximum oder Minimum statt hat. Diese Periode ist der Art, daß in jedem Jahrhundert die Jahre 0,00; 11,11; 22,22 ... Minima vorstellen. Der Zeitraum zwischen einem Minimum und dem folgenden Maximum ist variabel und beträgt durchschnittlich 5 Jahr. Die kleinen Unregelmäßigkeiten, welche sich bei den Sonnenflecken zeigen, kommen genau eben so bei den magnetischen Variationen vor***). Dieselbe Periode hat sich dann auch nach Lamont****) für die tägliche Bewegung der Horizontalintensität ergeben. Auch nach Secchi†) sind die täglichen Schwankungen sowohl im Sinne der horizontalen und verticalen magnetischen Richtung, als auch in der Größe der absoluten magnetischen Kraft von einem directen magnetischen Einflusse der Sonne und ihrer Lage zu dem magnetischen Meridiane des Beobachtungsortes abhängig, wie allerdings schon Sabine††) ausgesprochen hatte.

Ueber die Inklination handelt der Art. Neigung der Magnetnadel.

Deklination und Inklination beziehen sich auf Richtung der magnetischen Kraft an den verschiedenen Orten der Erde; die Intensität betrifft die Größe dieser Kraft. Es ist nämlich die Frage zu erledigen, ob diese Kraft auf der Erde überall von derselben Stärke ist, oder nicht. So wie man durch Pendelschwingungen Aufschluß gewonnen hat über die Stärke der Schwerkraft von verschiedenen Orten der Erde (vergl. Art. Pendel und Schwere), eben so hat man die vorliegende Frage zu beantworten gesucht durch Beobachtungen der Schwingungen der Magnetnadel, indem man die Schwingungen zählte, welche dieselbe Magnetnadel an verschiedenen Orten in gleichen Zeiten vollendete. Hierzu kann man sich

---

*) Annuaire 1836. p. 284 und 1840. p. 330—338.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 572.

***) Monatsbericht der Berl. Acad. 1852. Nov. S. 616.

****) Pogg. Ann Bd. LXXXVI. S. 88; vergl. auch Bd. LXXXIV. S. 582 und Bd. LXXXV. S. 418; Bd. LXXXVIII. S. 568. Astron. Nachrichten Nr. 820.

†) Instit. 1854. p. 359. Arch. ph. nat. T. XXVII. p. 192; T. XXVIII. p. 13.

††) Instit. 1854. p. 391. Phil. Magaz. (4) T. VIII. p. 146.

sowohl einer Inklinations-, als auch einer Deklinationsnadel bedienen; wegen der Schwierigkeiten aber, welche sich bei Anfertigung eines genauen Inklinatoriums (s. d. Art.) zeigen, ist die Benutzung der letzteren die gewöhnlichere.

Läßt man eine Inklinationsnadel im magnetischen Meridiane schwingen und nennt man die magnetische Kraft der Erde M, so ist nach den Gesetzen der Pendelbewegung

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{2\,M}},$$

wo t die Schwingungszeit und l die halbe Länge der Nadel bedeuten; folglich ist $M = \frac{\pi^2 l}{2\,t^2}$, oder, da die Schwingungszahlen sich umgekehrt verhalten, wie die Schwingungszeiten, d. h. $T : t = n : N$,

$$M = \frac{n^2 \pi^2 l}{2};$$

also verhalten sich, wenn an zwei verschiedenen Orten die Größe der magnetischen Kraft verschieden, M und M′, ist, diese Kräfte wie die Quadrate der Schwingungszahlen, d. h.

$$M : M^1 = n^2 : n_1^2.$$

Bedient man sich einer Deklinationsnadel, so findet man:

$$M = \frac{\pi^2 l}{2\,t^2 \cos i} = \frac{n^2\,\pi^2\,l}{2\cos i}$$

und also

$$M : M_1 = \frac{n^2}{\cos i} : \frac{n_1^2}{\cos i_1},$$

wo i die Inklination bedeutet.

Ist nämlich m der auf die Deklinationsnadel wirkende Theil der magnetischen Kraft der Erde, so ist

$$m = M\,.\,\cos i.$$

Bei einem zu diesem Zwecke angestellten Versuche benutzt man gewöhnlich einen kleinen, an einem umgedrehten Seidenfaden horizontal aufgehängten Magnetstab. Mittelst eines Eisenstücks zieht man denselben aus dem magnetischen Meridiane, entfernt dann das Eisen möglichst weit und zählt die Schwingungen, z. B. während einer Minute. Zählt man die Secunden, welche der Magnetstab zu einer bestimmten Anzahl Schwingungen braucht, so rechnet man selbstredend nach der Proportion:

$$M : M_1 = t_1^2 \cos i_1 : t^2\,.\,\cos i.$$

Daß man die Schwingungen streng genommen auf den luftleeren Raum reduciren müsse, darauf hat namentlich Lamont aufmerksam gemacht und mit Kuhn darauf bezügliche Untersuchungen angestellt *). Setzte man die Schwingungsdauer im leeren Raume = T und unter dem Luftdrucke p Par. Zoll = $T\left(1 + \frac{p}{28}\,\alpha\right)$, so ergab sich für α im Mittel 0,00033, und es folgte über-

*) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 124.

dies, daß die den Magnet umgebende Luft bis auf 4 Millimeter von seiner Oberfläche an dieser Oberfläche adhärirt und mit geschwungen haben mußte.

Es versteht sich von selbst, daß der Magnetstab keine Aenderung an seiner eigenen Stärke erleiden darf. Deshalb kehrt man an die Orte der früheren Beobachtungen zurück und überzeugt sich, ob das Resultat ungeändert geblieben ist. Außerdem sind Intensitätsbeobachtungen, die mit demselben Magnetstabe angestellt sind, nur dann unter einander vergleichbar, wenn zur Zeit der Beobachtung die Temperatur dieselbe war, weshalb, um anderenfalls die nöthige Correction vornehmen zu können, gleichzeitige Temperaturbeobachtungen erforderlich sind. Kupffer hat die hierzu nöthigen Regeln und Tafeln gegeben *). Nach ihm wird der vorübergehende Einfluß der Wärme corrigirt, wenn man für jeden Grad R. von der Zeit, welche 200 Schwingungen erfordern (etwa 40′ 12″) 0,859″ abzieht. — Stellt man die Versuche mit verschiedenen Magnetstäben an, so muß man, um die Resultate vergleichbar zu machen, das Verhältniß der magnetischen Intensitäten dieser Magnetstäbe kennen, oder das Verhältniß der Quadrate der Schwingungszahlen, welche sie an demselben Orte und zu derselben Zeit in Zeit von gleich viel Secunden machen. Zu vergleichen ist übrigens wegen der genaueren Apparate Art. Magnetometer.

Im Allgemeinen hat man gefunden, daß die Intensität des Erdmagnetismus von dem magnetischen Aequator nach den Polen hin zunimmt; jedoch ist sie weder an allen Punkten des magnetischen Aequators gleichgroß, so daß die Linie geringster Intensität mit demselben nicht zusammenfällt, noch an den Polen am stärksten. Die Linien, welche Orte gleicher Intensität verbinden, heißen isodynamische. Dieselben laufen weder mit dem magnetischen, noch mit dem geographischen Aequator parallel, sondern ihre Gestaltung ist eine eigenthümliche.

Das Gesetz von der im allgemeinen mit der magnetischen Breite zunehmenden Intensität hat A. v. Humboldt zuerst gefunden **). Er beobachtete in den Jahren 1799 bis 1803, daß dieselbe Nadel, welche in 10 Minuten in Paris 245, in der Havana 246, in Mexico 242 Schwingungen vollbrachte, innerhalb derselben Zeit zu San Carlos del Rio Negro (1° 53′ n. Br., 80° 54′ westl. L.) 216, auf dem magnetischen Aequator in Peru (7° 1′ südl. Br., 80° 40′ westl. L.) nur 211, in Lima (12° 2′ südl. Br.) wieder 219 Schwingungen zeigte. Er fand also, wenn man die Intensität auf dem magnetischen Aequator in der peruanischen Andeskette zwischen Micuipampa und Caxamarca = 1 setzt, dieselbe zu Paris = 1,3482, in Mexico = 1,3155, in San Carlos del Rio Negro = 1,0480, in Lima = 1,0773. — Man hat die Gewohnheit beibehalten, in allen magnetischen Intensitäts-Tafeln, welche in Deutschland, England und Frankreich erschienen sind, die irgend wo auf dem Erdkörper beobachteten Schwingungen auf das Maß der Kraft zu reduciren, welches A. v. Humboldt auf dem magnetischen Aequator im nördlichen Peru gefunden hatte. Da es jedoch nöthig ist, die magnetische Erdkraft unabhängig zu machen von der zufälligen und veränderlichen Intensität der Magnete, so hat man auf Mittel gesonnen, die magnetische Erdkraft

*) Pogg. Ann. Bd. XVII. S. 405.

**) Kosmos. Bd. I. S. 432.

absolut zu messen. Poisson *) hat sich zuerst damit beschäftigt; am vollständigsten ist jedoch die Lösung Gauß gelungen **).

Die meiste Thätigkeit in Bestimmung der Intensität hat seit 1819 Edward Sabine entwickelt, der mit derselben Nadel am amerikanischen Nordpole, in Grönland, in Spitzbergen, an den Küsten von Guinea und in Brasilien Beobachtungen angestellt hat und überdies alles darauf Bezügliche sammelte und ordnete. Sabine fand in der Nähe des magnetischen Nordpols in Melville's Insel (74° 27′ n. Br.) nur 1,624; nach James Clark Roß ist die Intensität nahe bei dem magnetischen Südpole 2,052. (73° 47′ südl. Br., 169° 30′ östl. L.). Dies ist der größte bis jetzt beobachtete Werth, während der geringste 0,706 von Erman unter 19° 59′ südl. Br. und 37° 24′ westl. L. beobachtet wurde. Dies Minimum und Maximum stehen in den Verhältnissen 1 : 2,906, während die Schwere unter dem geographischen Aequator sich zu der am geographischen Pole wie 1 : 1,005 verhält. Die Linie der geringsten Intensität begann für das Jahr 1825 unterhalb Trinidad in 30° w. L. v. Gr. und 22° s. Br., lief durch 20° w. L. und 24°,5 s. Br., schnitt unter 18°,5 w. L. in den Parallel 25°, senkte sich etwas unter diesen herab, bis sie aufwärts gehend ihn in 13° w. L. abermals schnitt und dann durch 10° w. L., 24°,5 s. Br. und 5° w. L., 23°,5 s. Br. bis 0° L., 21°,5 s. Br. gelangte ***).

Ueber das Verhältniß der Intensität bei einer Erhebung über die Erdoberfläche hat Kupffer ****) bei einer Besteigung des Elbrus in einer Höhe von ungefähr 15400 Par. Fuß über der Meeresfläche Beobachtungen angestellt und eine Abnahme von 0,01 Sec. auf 24 Secunden Schwingungszeit für jede 1000 Fuß Erhebung gefunden.

Genaue Intensitätsbeobachtungen gehören, wie sich aus dem Vorstehenden ergiebt, erst der neuesten Zeit an. Ueber Veränderungen derselben läßt sich daher noch nichts Genaues feststellen, doch sprechen die Beobachtungen, wenigstens im mittleren Europa, eben so für eine Abnahme der Intensität, wie der Inklination.

Lamont hat, da die Vertheilung der magnetischen Kraft an der Erdoberfläche jetzt eine der wichtigsten physikalischen Untersuchungen bildet, eine provisorische Darstellung des Laufs der magnetischen Curven in 6 Charten gegeben *****). Die erste Charte giebt die Verhältnisse der magnetischen Deklination; die 2. die der horizontalen Intensität; die 3. die der Inklination für Deutschland und einen Theil der angrenzenden Länder. Auf allen drei Charten geht die Hauptlinie durch München. Die drei letzten Charten geben die Verhältnisse, respective der Deklination, Intensität und Inklination speciell für Bayern. Der aus 4 Abschnitten bestehende Text enthält im dritten 13 den Charten zu Grunde liegende Tabellen, von denen die dreizehnte die magnetischen Constanten für 1850 für 433 Orte giebt. Folgendes ist ein Auszug daraus †).

*) Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 227.

**) Vergl. Dove's Repert. der Physik. Bd. II. S. 169 und oben die Theorie von Gauß N. 27.

***) Phil. Transact. 1842. P. I. p. 9.

****) Schweigg. Journ. LXIII. S 79. Ann. de Chim. et de Phys. T. XLII. p. 105.

*****) Magnetische Charten von Deutschland und Bayern nach den neuen bayerischen und österreichischen Messungen, unter Benutzung einiger älterer Bestimmungen. München 1854.

†) Jahn, Unterhaltungen im Gebiete der Astron., Geogr. und Meteorologie. 8. Jahrg. 1854. S. 299.

Magnetische Constanten, reducirt auf das Jahr 1850.

Ort	Oestl. Länge v. Ferro	Nördl. Breite	Westl. Deklination	Horiz. Intensität	Inklination
Adelsberg	31° 54′	45° 46′	13° 56′,2	2,0791	62° 43′,3
Admont	32 8	47 35	14 14,4	2,0084	63 59,5
Agram	33 40	45 48	13 34,5	2,0951	62 24,6
Algier	20 44	36 47	16 43,0	2,3975	56 57,0
Alt-Arad	38 59	46 11	10 53,0	2,1207	56 26,0
Altheim	30 51	48 15	15 10,4	1,9605	64 43,7
Altöttingen . . .	30 20	48 13	15 18,0	1,9545	64 50,5
Amberg	29 32	49 27	15 59,1	1,8998	65 53,0
Arnstein	27 37	49 58	16 54,5	1,8676	66 29,4
Aschaffenburg . . .	26 51	49 58	17 28,6	1,8550	66 43,4
Augsburg	28 34	48 22	16 15,0	1,9367	65 14,9
Bamberg	28 32	49 53	16 24,6	1,8733	66 19,6
Bayreuth	29 12	49 57	16 16,8	1,8728	66 18,6
Belluno	29 53	46 8	14 35,7	2,0458	63 18,0
Berlin	31 3	52 30	15 20,8	1,7901	67 44,8
Bistritz	42 10	47 8	9 53,0	2,1101	62 36,1
Bludenz	27 25	47 9	16 39,0	1,9818	64 28,9
Bodenbach	31 52	50 46	14 55,7	1,8563	66 19,1
Botzen	28 58	46 30	15 47,5	2,0193	63 46,4
Bregenz	27 21	47 30	16 39,6	1,9656	64 47,8
Brescia.	27 51	45 32	16 15,2	2,0574	63 8,5
Bruck an der Mur. .	32 57	47 25	13 52,6	2,0172	63 50,1
Brünn	34 17	49 11	13 47,9	1,9327	65 3,5
Brüssel	22 2	50 51	20 40,7	1,7708	67 51,8
Carlowitz	37 37	45 11	11 6,5	2,1971	61 0,7
Carlsruhe	26 5	49 0	17 30,3	1,8908	66 8,4
Carlstadt	33 15	45 29	13 49,1	2,0992	62 13,1
Cattaro	36 19	42 25	12 2,1	2,2794	59 22,8
Como	26 44	45 48	16 58,0	2,0265	63 39,0
Cracau	37 27	50 4	11 33,0	1,9383	65 23,9
Cremona	27 41	45 8	16 11,1	2,0760	62 55,1
Culmbach	29 9	50 6	16 15,4	1,8665	66 25,3
Czaslau	33 2	49 57	14 2,3	1,9174	65 19,8
Czernowitz	43 41	48 17	9 20,5	2,0709	63 20,2
Darmstadt	26 19	49 52	17 9,9	1,8201	66 59,4
Dillingen	28 9	48 35	16 27,6	1,9268	65 25,6
Donauwerth	28 27	48 43	16 20,5	1,9220	65 32,9
Durlach	26 9	49 0	17 28,2	1,8929	66 7,0
Erlau	38 3	47 53	11 33,5	2,0468	63 30,6
Essieg	36 22	45 32	12 21,3	2,1215	61 50,1
Fiume	32 3	45 19	14 23,8	2,1004	62 24,8
Freiburg	25 31	48 10	17 39,3	1,9340	65 28,4

Ort	Oestl. Länge v. Ferro	Nördl. Breite	Westl. Deklination	Horiz. Intensität	Inklination
Freising	29° 24′	48° 24′	15° 47′,5	1,9418	65° 10′,2
Fünfkirchen . . .	35 55	46 4	12 39,7	2,0986	62 17,8
Füssen	28 22	47 34	16 15,9	1,9707	64 40,4
Gastein	30 45	47 10	15 8,9	2,0157	63 58,1
Gmünd	31 10	46 54	15 11,2	2,0299	63 42,2
Gorz	31 18	45 56	14 6,7	2,0661	62 56,2
Göttingen	27 36	51 32	17 9.2	1,7989	67 21,7
Gratz	33 8	47 4	13 54,4	2,0327	63 28.9
Gunzenhausen . . .	28 25	49 7	16 28,3	1,9054	65 47,2
Haag	29 50	48 10	15 35,4	1,9529	64 55,2
Heidelberg	26 21	48 39	17 26,7	1,8797	66 19,9
Hermannstadt . . .	41 53	45 17	9 39,6	2,1789	61 16,9
Hersbruck	29 5	49 31	16 11,7	1,8955	65 59,1
Hohenpeissenberg . .	28 41	47 48	16 10,0	1,9642	64 47,6
Homburg	25 1	49 19	18 9,4	1,8707	66 28,7
Iglau	33 18	49 25	13 55,3	1,9301	65 15,7
Immenstadt . . .	27 53	47 33	16 32,3	1,9680	64 45,8
Imst	28 20	47 14	16 13,4	1,9819	64 22,6
Ingolstadt	29 5	48 46	15 59,9	1.9092	65 38,5
Innsbruck	28 59	47 16	16 56,4	1,9842	64 13,6
Ischel	31 14	47 43	15 4,1	1,9802	64 26,2
Kaiserslautern . . .	25 25	49 28	17 56,1	1 8685	66 32,3
Karlsburg	41 19	46 4	9 40,7	2,1630	61 36,5
Kaschau	38 59	48 41	11 5,9	2,0097	64 7,4
Kehl	25 29	48 34	16 52,1	1,9070	65 47,8
Kesmark	38 9	49 8	11 30,5	1,9846	64 39,4
Klagenfurt	31 58	46 37	14 23,6	2,0370	63 23,8
Klattau	31 2	49 24	15 18,0	1,9055	65 6,3
Klausenburg . . .	41 20	46 46	9 58,4	2,1121	62 20,1
Kommotau	31 5	50 27	15 8,6	1,8580	66 2,3
Komorn (Szöny) . .	35 52	47 45	12 28,7	2,0289	63 40,0
Königsberg . . .	38 10	51 43	11 19,0	1,7708	68 39,9
Kremsmünster . . .	31 48	48 3	14 45,4	1,9719	64 36,9
Landeck	28 11	47 8	16 21,8	1,9908	64 20,6
Landsberg	28 33	48 3	16 14,7	1,9497	65 1,4
Landshut	29 48	48 32	15 42,4	1,9392	65 12,1
Laufen	30 36	47 56	15 17,2	1,9646	64 43,2
Leipzig	30 2	51 20	15 41,8	1,8301	67 10,5
Leutomischl	33 59	49 53	13 31,9	1,9248	65 19,6
Lindau	27 20	47 33	16 52,5	1,9608	64 44,6
Linz	31 58	48 18	14 48,4	1,9671	64 36,1
London	22 26	51 31	20 31,5	1,7307	68 48,0
Ludwigshafen . . .	26 6	49 29	17 33,7	1,8697	66 35,1
Mannheim	26 9	49 29	17 31,0	1,8692	66 30,0

Ort	Oestl. Länge v. Ferro	Nördl. Breite	Westl. Deklination	Horiz. Intensität	Inklination
Mantua	28° 27′	45° 9′	15° 31′,4	2,0795	62° 54′,3
Marburg (Oestr.)	33 23	46 35	13 32,6	2,0480	63 11,9
Marburg	26 26	50 49	17 40,4	1,8242	67 17,8
Maros-Wasarhely	42 18	46 32	10 10,7	2,1304	62 14,6
Meersburg	26 57	47 41	17 1,2	1,9546	65 3,9
Memmingen	27 50	48 0	16 34,5	1,9500	65 2,7
Meran	28 48	46 40	15 58,9	2,0138	63 52,8
Mindelheim	28 9	48 3	16 26,9	1,9500	65 1,2
Munkacz	40 27	48 26	10 16,8	2,0338	63 38,8
München	29 16	48 9	15 53,9	1,9523	64 59,5
Nagy-Banya	41 78	47 39	9 13,5	2,0941	62 50,9
Neuburg a. d. Donau	28 59	48 45	15 56,4	1,9246	65 24,9
Neuhaus	32 39	49 8	14 14,9	1,9395	64 54,8
Neustadt a. d. H.	25 48	49 22	17 46,0	1,8701	66 27,1
Nürnberg	28 43	49 27	16 19,5	1,9017	65 54,8
Ofen	36 43	47 29	12 20,4	2,0429	63 15,9
Offenburg	25 38	48 28	17 43,0	1,9122	65 43,3
Olmütz	34 55	49 36	13 8,8	1,9307	65 18,1
Padua	29 32	45 24	15 11,3	2,0736	62 52,2
Paris	20 0	48 50	20 35,8	1,8577	66 40,8
Passau	31 8	48 34	15 8,2	1,9451	65 6,1
Pforzheim	26 21	48 54	17 29,6	1,8984	66 9,4
Pirmasenz	25 17	49 12	17 59,1	1,8727	66 29,0
Pisek	31 49	49 19	14 48,1	1,9143	65 1,3
Prag	32 5	50 5	14 38,3	1,8911	66 5,2
Preßburg	34 44	48 9	13 22,0	2,0016	63 59,0
Przemysl	40 30	49 47	9 35,6	1,9809	64 48,9
Ragusa	35 41	42 38	12 17,6	2,2626	59 29,4
Reichenau	33 56	50 11	13 44,4	1,8997	65 30,1
Reichenberg	32 44	50 46	14 42.5	1,8635	66 8,1
Rom	30 8	41 54	14 31,0	2,2459	59 38,0
Rothenburg	27 51	49 23	16 44,3	1,8922	66 2,0
Rovigo	29 26	45 4	15 3,7	2,0864	62 37,8
Salzburg	30 42	47 48	15 18,5	1,9703	64 38,6
Schärding	31 4	48 27	15 8,4	1,9573	64 43,1
Schäsburg	42 32	46 13	10 15,3	2,1605	61 43,0
Schemnitz	36 35	48 27	12 23,3	2,0084	64 3,3
Schweinfurt	27 54	50 3	16 50,8	1,8659	66 32,2
Senftenberg	34 7	50 5	13 34,7	1,9058	65 45,3
St. Johann	30 0	47 32	15 20,2	1,9849	64 23,6
Stockach	26 39	47 51	17 12,7	1,9432	65 14,9
Straubing	30 14	48 52	16 30,8	1,9288	65 22,7
Suczawa	43 59	47 38	8 45,5	2,0985	62 43,6
Szatmar	40 36	47 47	9 40,2	2,0607	63 17,1

Ort	Oestl. Länge v. Ferro	Nördl. Breite	Westl. Deklination	Horiz. Intensität	Inklination
Szegedin	37° 48′	46° 15′	11° 21′,0	2,1057	62° 24′,1
Szöny (Komorn) . .	35 48	47 45	12 28,7	2,0289	63 40,0
Tarnow	38 41	50 1	11 13,9	1,9523	65 23,2
Temesvar	38 52	45 5	10 50,7	2,1349	61 40,0
Teplitz	31 27	50 39	14 56,8	1,8591	66 15,3
Teschen	36 17	49 45	12 31,7	1,0481	64 55,7
Traunstein	30 18	47 52	15 16,9	1,9684	64 42,5
Trient	28 46	46 3	15 50,9	2,0426	63 17,0
Triest	31 26	45 39	14 24,4	2,0829	62 39,6
Troppau	35 33	49 56	12 41,6	1,9338	65 20,7
Turin	25 22	45 4	17 3,9	2,0442	63 26,1
Ulm	27 40	48 25	16 41,1	1,9331	65 23,2
Venedig	29 59	45 26	14 4,0	2,0740	62 50,3
Verona.	28 38	45 26	15 37,5	2,0647	63 4,5
Vicenza	29 12	45 32	15 39,1	2,0649	63 1,6
Weißkirchen . . .	39 5	44 54	11 7,6	2,1761	60 55,1
Wien	34 3	48 13	13 31,3	1,9940	64 26,1
Wieliczka	37 44	49 59	11 47,3	1,9521	65 12,8
Würzburg	27 35	49 47	16 55,5	1,8718	66 22,7
Znaym	33 43	48 51	13 34,4	1,9627	64 47,7

Als Ergänzung zum Art. Abweichung Bd. I. S. 50 möge hier auch noch die Deklination zu Brüssel bis zum Jahre 1854 eine Stelle finden, wie dieselbe von Quetelet seitdem noch ermittelt ist.

1840	März	21°	46′,1
1841	„	21	38,2
1842	„	21	35,5
1843	„	21	26,6
1844	„	21	17,4
1845	„	21	11,6
1846	„	21	4,7
1847	„	20	56,8
1848	März	20°	49′,2
1849	April	20	39,2
1850	„	20	25,7
1851	„	20	24,7
1852	März	20	18,2
1853	April	20	6,0
1854	März	19	57,7

In Paris war die Deklination in den letzten Jahren folgende *):

1848 Decbr. 22.	20°	41′	42″
1849 Novbr. 30.	20	34	18
1851 Novbr. 16.	20	25	0
1853 Decbr. 3.	20	17	0.

Reiches Material bieten die Resultate des Göttinger Vereins, eben so Dove's Repertorium der Physik, Bd. VII. S. CXI. bis CLXV. Wir geben hier nur eine Tabelle über die

*) Pariser Annuaire 1854.

Tägliche Bewegung der Horizontal-Intensität, in Zehntausendstel der Horizontal-Intensität zu München.

München		Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	November	December
1842.	14h 6',7	0,52	3,17	6,44	14,04	8,26	10,28	14,51	11,95	11,86	10,34	5,94	1,73
	16 6,7	1,91	3,86	6,96	12,30	7,38	12,17	12,84	9,70	11,39	11,17	7,55	3,41
	18 6,7	3,90	4,99	6,68	11,06	5,76	4,61	9,02	8,72	8,66	10,70	7,00	4,93
	19 6,7	4,94	5,11	5,26	8,65	3,60	1,37	7,75	4,68	5,62	9,17	6,65	4,52
	20 6,7	4,06	4,20	3,65	5,21	1,19	0,37	4,08	0,65	2,33	5,81	5,52	3,70
	21 6,7	2,00	2,76	0,79	2,29	0,00	0,30	0,00	0,00	0,95	2,69	2,99	1,42
	22 6,7	0,00	0,78	0,00	0,73	0,61	0,00	1,86	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00
	23 6,7	0,29	0,00	0,60	0,00	4,44	2,69	3,86	3,13	2,46	0,84	0,02	0,00
	0 6,7	2,17	0,53	2,96	4,16	6,35	5,76	6,08	8,06	7,67	3,10	0,59	0,49
	1 6,7	2,80	1,51	4,87	8,88	7,08	7,76	8,17	11,86	11,08	5,50	2,12	1,54
	2 6,7	3,40	2,78	6,47	10,46	8,54	10,94	12,32	12,54	13,19	7,69	1,10	1,40
	3 6,7	2,48	1,75	7,26	13,90	10,60	13,63	13,57	13,61	13,15	6,82	1,14	2,04
	4 6,7	1,48	1,28	6,12	13,60	9,74	13,82	15,68	14,32	11,59	6,59	1,25	1,60
	5 6,7	1,18	0,60	6,92	13,22	9,13	13,06	16,30	12,98	12,07	8,28	2,89	1,60
	6 6,7	1,79	2,50	6,82	13,90	11,50	14,16	17,16	14,58	13,69	9,06	4,13	2,42
	8 6,7	1,78	3,95	7,13	17,96	12,28	13,48	18,54	18,70	16,69	9,89	6,44	0,94
	10 6,7	1,36	2,18	7,08	15,37	12,46	13,66	16,72	19,03	14,83	11,36	4,26	1,15
	12 6,7	0,68	2,98	5,72	16,02	11,10	11,45	14,75	16,32	14,11	9,92	4,97	1,92
1843.	13 6,7	2,60	3,71	7,61	9,92	11,03	13,62	15,76	17,83	14,56	12,31	4,49	1,94
	14 6,7	2,74	2,63	7,64	9,72	10,08	12,12	14,81	15,96	15,07	11,74	5,28	2,41
	16 6,7	4,08	2,46	6,80	8,22	9,46	12,05	13,97	15,59	14,60	12,05	6,08	4,99
	18 6,7	5,84	2,99	7,34	8,56	7,46	10,52	11,75	11,62	13,09	13,31	6,35	6,01
	19 6,7	6,25	3,46	7,52	8,44	4,07	8,17	9,66	10,08	9,98	11,22	7,00	7,43
	20 6,7	5,71	3,48	5,70	5,72	1,48	4,72	6,18	5,21	6,01	6,49	4,91	7,13
	21 6,7	3,06	1,73	3,16	1,48	0,00	1,32	2,77	1,98	2,48	2,93	2,09	4,26

München	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	November	December
1843. 22h 6',7	0,96	1,22	0,34	0,00	1,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	1,01
23 6,7	0,16	0,00	0,00	1,74	2,77	0,94	0,11	2,57	1,10	0,56	0,00	0,73
0 6,7	0,00	0,76	2,64	4,68	6,22	3,67	3,37	7,79	7,37	2,47	1,46	1,82
1 6,7	2,06	2,36	4,62	7,14	9,22	8,53	7,36	11,21	9,36	5,04	3,72	1,67
2 6,7	2,88	2,76	5,96	8,21	11,91	11,52	9,38	13,21	9,62	7,14	2,72	1,64
3 6,7	3,79	1,85	4,19	7,84	11,77	13,12	14,03	15,49	10,88	7,74	2,66	0,80
4 6,7	3,92	1,62	5,42	8,30	11,93	13,24	14,10	16,02	11,47	6,80	2,45	1,50
5 6,7	2,78	1,46	4,60	8,44	12,94	13,64	14,98	16,13	10,91	8,12	3,02	0,22
6 6,7	2,78	0,88	4,19	8,68	13,54	13,45	15,73	16,87	11,44	10,10	4,30	0,48
7 6,7	—	3,08	4,31	8,08	14,84	15,78	15,58	18,70	15,43	12,98	4,09	0,00
8 6,7	3,08	2,74	5,04	8,99	13,94	16,21	15,55	18,97	14,34	11,80	3,77	1,04
9 6,7	—	4,19	6,17	9,19	13,19	16,30	16,60	19,38	16,30	12,20	3,66	1,43
10 6,7	3,08	3,61	6,52	9,97	13,00	16,22	16,67	19,56	17,63	13,15	3,86	1,55
12 6,7	3,49	4,27	5,83	10,22	11,45	15,46	15,70	17,05	14,75	11,98	4,37	3,59
1844. 13 6,7	3,07	2,02	8,87	14,04	10,32	12,86	13,78	17,92	14,52	12,23	4,94	3,48
14 6,7	2,75	0,72	5,74	13,11	9,74	12,91	13,52	16,30	13,64	12,31	4,55	3,47
16 6,7	5,03	2,00	7,04	10,39	8,40	12,43	13,55	14,88	14,74	14,52	6,23	5,08
18 6,7	6,72	3,94	7,39	12,36	7,63	9,64	9,82	11,15	13,43	13,01	6,24	7,08
19 6,7	7,02	3,82	7,00	8,84	5,02	7,06	7,58	8,60	10,12	10,72	7,50	6,98
20 6,7	6,23	3,71	5,30	5,38	2,76	4,07	3,95	3,04	4,86	7,03	5,44	7,14
21 6,7	4,08	2,95	1,78	1,52	0,00	1,28	1,21	0,00	0,48	2,53	4,14	5,08
22 6,7	2,14	1,91	0,34	0,00	0,97	0,00	0,00	1,26	0,00	0,00	2,35	3,76
23 6,7	0,00	1,14	0,00	1,94	3,02	3,85	1,64	4,27	1,09	0,32	1,74	2,94
0 6,7	1,93	1,09	2,39	4,37	5,69	5,29	5,05	8,83	4,99	5,22	1,85	3,56
1 6,7	3,48	1,93	4,04	6,55	7,76	8,42	9,18	11,33	8,90	6,22	3,31	3,78
2 6,7	4,02	3,59	5,46	9,92	8,57	10,28	12,07	14,00	10,94	8,10	1,62	0,72
3 6,7	3,91	2,41	4,16	10,12	9,86	13,32	13,66	15,85	10,45	7,56	1,31	0,46
4 6,7	3,12	9,35	5,32	9,35	8,90	12,54	12,73	16,50	8,64	6,94	0,41	0,08
5 6,7	3,31	0,00	4,88	10,37	12,12	12,20	12,47	15,05	9,59	9,08	0,00	0,00
6 6,7	3,04	0,31	6,77	12,02	12,44	14,12	13,92	17,38	10,60	10,39	1,55	1,58

München		Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	November	December
1844.	7h 6',7	3,07	0,94	8,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	8 6,7	2,59	2,22	9,65	14,09	15,35	16,31	17,74	20,40	12,96	9,96	4,49	0,53
	9 6,7	2,87	2,12	10,99	—	—	—	—	—	—	—	—	1,79
	10 6,7	2,82	3,38	10,31	14,39	13,09	15,26	15,42	19,87	14,66	12,38	4,02	1,75
	11 6,7	—	—	—	14,77	12,98	15,34	15,37	19,87	14,71	12,91	3,71	2,82
	12 6,7	3,02	1,79	8,21	14,21	11,59	13,50	14,36	18,73	14,77	13,09	4,12	—
1845.	13 6,7	0,65	5,98	11,54	—	12,18	15,92	14,14	18,48	14,64	10,72	5,99	—
	14 6,7	0,82	5,04	11,15	—	12,29	15,20	13,50	17,51	15,06	11,22	6,42	—
	16 6,7	3,85	4,54	11,15	—	10,97	15,17	13,22	16,80	13,75	11,77	8,28	—
	18 6,7	5,56	6,52	9,84	—	7,15	11,30	9,23	13,48	12,02	11,64	9,34	—
	19 6,7	5,94	7,39	9,64	11,88	4,22	7,08	6,44	8,99	7,96	9,89	9,37	—
	20 6,7	6,55	5,83	6,88	7,30	1,13	2,56	2,64	1,94	2,24	6,00	7,03	—
	21 6,7	5,30	3,90	3,08	2,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	3,36	—
	22 6,7	4,66	0,00	0,00	0,00	1,15	1,07	0,19	1,07	0,43	0,06	0,00	—
	23 6,7	2,56	1,15	0,44	0,54	3,80	5,10	3,38	4,85	2,00	2,11	0,36	—
	0 6,7	3,97	2,81	5,46	4,37	6,12	9,26	7,85	8,88	6,54	3,89	0,49	—
	1 6,7	5,20	4,40	8,29	8,20	7,92	13,49	10,39	12,62	8,60	5,29	2,41	—
	2 6,7	4,01	3,54	7,72	10,52	8,24	14,57	13,09	16,19	9,38	6,19	2,54	—
	3 6,7	0,96	3,76	9,05	12,48	7,97	17,09	13,43	16,22	8,39	5,17	1,98	—
	4 6,7	0,02	2,17	8,00	12,54	11,45	15,78	13,39	16,12	8,77	5,34	2,87	—
	5 6,7	0,00	1,62	6,89	13,87	11,90	14,57	12,06	15,22	8,64	6,90	3,02	—
	6 6,7	0,66	2,87	7,14	13,01	12,49	15,24	13,09	16,08	10,28	8,45	4,67	—
	8 6,7	1,33	5,45	10,52	16,44	15,07	17,75	15,98	20,50	14,36	10,64	4,78	—
	10 6,7	2,22	6,61	12,43	16,48	13,84	17,50	14,99	20,51	15,01	11,47	5,74	—
	11 6,7	2,75	6,86	12,62	16,30	12,47	16,87	13,93	19,15	14,87	11,34	5,93	—
	12 6,7	3,02	6,97	12,38	15,46	12,17	16,60	14,29	19,94	15,49	11,11	6,40	—

Was die Frage nach der Ursache des Erdmagnetismus anbelangt, so haben wir schon oben Ampère's Vermuthung angeführt, daß die Erde durch elektrische Ströme magnetisch werde, welche sie in Folge der scheinbaren Bewegung der Sonne um die Erde täglich in der Richtung von Ost nach West umfließen. Wir hätten hiernach die Ursache in der Sonne zu suchen, wohin auch die Abhängigkeit der magnetischen Variationen von den Sonnenflecken oder die Uebereinstimmung in der Periode beider zu weisen scheint. Aber auch der Mond soll nach Kupffer einen Einfluß ausüben auf die Schwingungsdauer eines Magneten, so zwar, daß die Intensität durch den Mond geschwächt würde, indem die Schwingungsdauer im Mittel während des Apogäum sich zu 40′ 0″,5 und während des Perigäum zu 40′ 1″,5 herausstellte. Eben so will auch Kreil einen Zusammenhang der Schwingungsdauer mit dem Monde und zwar mit dessen Phasen gefunden haben, und zwar in folgender Art: 1) die magnetische Kraft ist vom November bis Juni zur Zeit des Neumondes und des ersten Viertels kleiner, vom Juli bis October hingegen größer als beim Vollmonde und letzten Viertel; 2) bei südlicher Deklination des Mondes ist die magnetische Kraft stärker als bei nördlicher, durchschnittlich im Verhältnisse 22,09428 : 22,09618 — Mai und Juni scheinen eine Ausnahme zu machen, wogegen von October bis Januar der Unterschied am stärksten hervortritt; 3) in der Erdnähe des Mondes ist die magnetische Kraft schwächer als in der Erdferne, durchschnittlich im Verhältnisse 22,09246 : 22,09444, wovon abermals Mai und Juni eine starke Ausnahme machen; 4) die westliche Abweichung der Magnetnadel ist stärker, wenn der Mond sich östlich, d. h. auf der entgegengesetzten Seite des Meridians befindet. Der Mond wäre hiernach ein der magnetischen Kraft unterworfener Körper und auf seiner der Erde zugekehrten Hälfte herrschte jener Magnetismus vor, welcher den Südpol unserer Magnetnadel anzieht und die magnetische Kraft der Erde verstärkt *). Zu ähnlichen Resultaten, wie Kreil aus den Beobachtungen zu Mailand und Prag erhalten hat, ist Sabine **) aus den Beobachtungen von Toronto, St. Helena und Hobarton gekommen.

Es treten zwei Zeitpunkte des Maximums der Abweichung gegen Osten und eben so zwei des Maximums der Abweichung gegen Westen auf, welche zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen des Mondes durch den oberen Meridian des Beobachtungsortes stattfinden. Hiernach könnte man, wenn man die Ursache in einem außerhalb der Erde zu suchenden Einflusse finden wollte, eben so gut an den Mond denken. Aber der Mond könnte eben so durch die Sonne magnetisch werden, wie die Erde, und natürlich sich dann auch ein Einfluß des Mondes auf die Erde in Betreff des Magnetismus zeigen. Es ist also naturgemäßer auf die Sonne, als auf den Mond sein Augenmerk zu richten, indem die Wirkung des letzteren nur eine secundäre sein möchte.

De la Rive ***) gründet seine Theorie der Ursache der täglichen Variationen auf die Idee von thermoelektrischen Strömen in der Atmosphäre und der

*) Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 443.

**) Instit. 1854. p. 78. Compt. rend. T. XXXIX. p. 687. Arch. ph. nat. T. XXVIII. p. 47.

***) Ann. de Chim. et de Phys. 1849. T. XXV. p. 310.

Erde. Und Becquerel *) hat auch elektrische Ströme in der Erdrinde gefunden, aber nicht regelmäßig von Ost nach West die Erde umkreisende, sondern in allen Richtungen gehende. — Einwendungen gegen die Annahme von thermoelektrischen Strömen und einer daher rührenden Polarität der Erdrinde wurden von Christie **) erhoben, die jedoch nicht von der Art sind, daß sie diese Annahme könnten als unrichtig erscheinen lassen.

Lamont ***) hat die vorliegende Frage zum Gegenstande einer besonderen Abhandlung gemacht. Er sagt, man habe von galvanischen oder thermomagnetischen Strömen gesprochen, die an der Erdoberfläche durch die Sonnenwärme entständen und sich daselbst fortpflanzten. Indessen bisher habe noch kein Physiker durch Anwendung von Wärme in gemischten Materialien, wie sie an der Erdoberfläche sich vorfinden, einen galvanischen Strom hervorgebracht. Entständen aber auch wirklich solche Ströme, so wäre wohl zu vermuthen, daß nach der verschiedenartigen Beschaffenheit der Oberfläche ihre Fortpflanzung und mithin auch ihre Wirkung verschieden sein würde. Die Erfahrung aber lehre, daß auf dem Meere, wie auf dem festen Lande, in der Höhe, wie in der Tiefe überall nahe gleiche Wirkung sich zeigt. Ueberdies bestehe das Innere der Erde aus Stoffen von sehr großer specifischer Schwere, also höchst wahrscheinlich aus Metallen, die sämmtlich, so weit uns bekannt, bessere Leiter sind, als die Stoffe der Erdoberfläche. Demnach wäre nicht zu begreifen, warum, wenn auf der einen Erdhälfte die größte Wärme, auf der andern die größte Kälte ist, und dazwischen eine galvanische Spannung entsteht, der Strom um die Erde herumgehe, und nicht lieber durch die Mitte dem besseren und kürzeren Leiter folge, wobei natürlich gar keine Wirkung auf eine an der Oberfläche befindliche Nadel hervorgebracht würde. — Hiergegen läßt sich jedoch einwenden, daß der thermoelektrische Gegensatz, so weit er seine Ursache in der Erwärmung der Erde durch die Sonne hat, auf der Oberfläche der Erde bis zu einer Tiefe statt hat, die im Verhältniß zum Halbmesser der Erde gewiß nur sehr gering ist. Die elektrische Strömung kann nur in den Theilen stattfinden, zwischen welchen der elektrische Gegensatz, in Folge der durch die Sonne bewirkten Wärmeverhältnisse besteht, zwischen Theilen also, die dem Umfange der Erde entlang mit einander in Berührung stehen. Die vermöge dieses Gegensatzes austretenden Ströme werden dann jedenfalls um die Erde herum-, und nicht durch den Erdkörper hindurchgehen. Besteht aber das Innere der Erde großentheils aus metallischen Stoffen, so werden sich dieselben in einem glühenden, geschmolzenen Zustande befinden, so daß also ihre Leitungsfähigkeit für die Elektricität eine beträchtlich verminderte sein muß. Doch wollen wir von diesem Umstande hier ganz und gar absehen. Wäre auch wirklich die eine Hälfte des Erdkörpers bis an die Grenze des metallischen Erdinneren positiv, die andere Hälfte bis eben dahin negativ elektrisch, so würde die Ausgleichung dieses elektrischen Gegensatzes doch nicht allein durch das Erdinnere hindurch geschehen, sondern es würden elektrische Ströme durch die ganze Erdmasse, also auch um die Erde herum, von der einen Hälfte zur anderen stattfinden. Sind aber die entgegengesetzt elektrischen Erdhälften durch eine sehr beträchtliche Erdstrecke von dem metallischen Erdkern geschieden,

*) Compt. rend. T. XIX. p. 1052.
**) Phil. Trans. 1827. p. 308.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 67.

so wird die Ausgleichung derselben noch viel weniger durch diesen Kern hindurch geschehen können.

Eine andere Schwierigkeit würde nach Lamont diese sein, daß die galvanische Strömung sehr stark angenommen werden müßte, um die Einwirkung, die wir wahrnehmen, zu erklären, und es wäre nicht wohl begreiflich, daß ein starker Strom sich nicht auf sonstige leicht wahrnehmbare Weise äußern sollte. Wolle man aber, um dieser Schwierigkeit auszuweichen, annehmen, daß der Strom tief unter der Erdoberfläche sich fortpflanze, so wäre dann zu erklären, wie die Wärme, die während des Tages nur ein paar Zoll in die Erde eindringt, diesen Strom erzeugen sollte. — Dagegen ist aber zu erinnern, daß die Einwirkung, welche wir wahrnehmen, das Resultat unzähliger Partialwirkungen ist. Die thermoelektrischen Ströme mögen an sich immerhin sehr schwach sein, und demgemäß auch die von ihnen bewirkte magnetische Polarität der einzelnen Erdtheilchen; dennoch wird die erdmagnetische Kraft als die Gesammtwirkung aller so magnetisirter Theilchen des Erdkörpers eine sehr merkliche sein müssen.

Lamont selbst stellt nun folgende Hypothese auf. Die Phänomene, welche die Kometen zeigen *), erfordern, daß man der Sonne eine Kraft beilege, vermöge welcher sie einen Theil der Kometenmaterie anzieht, einen anderen Theil abstößt. Unter den uns bekannten Kräften könnte nur die Elektricität diese Wirkung hervorbringen. Wir hätten demnach anzunehmen, daß die Sonne eine große Menge Elektricität, z. B. positive, besitze, die Kometen aber in Folge dessen durch Induction elektrisch werden, und die beiden Elektricitäten darin sich scheiden. Ist nun die Sonne wirklich so stark positiv elektrisch, so wird sie auch auf die Elektricität, die in unserer Erde jedenfalls in großer Menge vorhanden sein muß, Einfluß haben, und zwar wird auf der Seite, welche der Sonne zugewendet ist, die negative, auf der entgegengesetzten Seite (der Nachtseite) die positive Elektricität sich ansammeln, und eine mächtige elektrische Welle oder Strömung, der man allerdings Einfluß auf den magnetischen Zustand zuschreiben dürfte, wird sich in 24 Stunden um die Erde herumziehen, sowohl im Innern als in der Atmosphäre, am Aequator mit einer Geschwindigkeit von 1427 Par. Fuß.

Lamont weist hierauf nach, daß eine Kraft, die an der Erdoberfläche in 24stündiger Periode sich herumzieht und nach allen Richtungen umgekehrt, wie das Quadrat der Entfernung, wirkend, das eine Ende der Nadel eben so stark anzieht, als sie das andere abstößt, die magnetischen Variationen, wie sie die Beobachtung gegeben hat, nicht hervorbringen könne; daß mithin die magnetischen Variationen einer an der Erdoberfläche erregten magnetischen, galvanischen oder thermoelektrischen Kraft nicht zugeschrieben werden können, insofern vorausgesetzt wird, daß diese Kraft die gewöhnlich für Magnetismus angenommenen Gesetze befolgt.

Dies Resultat findet nun, wie Lamont bemerkt, auf seine Hypothese keine Anwendung, weil er die Elektricität nicht etwa blos an der Oberfläche, sondern sowohl im Innern, als auch in der Atmosphäre vertheilt annimmt; wohl aber sei es ein Beweis gegen die Hypothesen, welche als Bedingung voraussetzen, daß die Ursache der täglichen Variationen an der Erdoberfläche, oder jedenfalls in

*) Vergl. Art. Kometen. Bd. IV. S. 329.

der Nähe der Erdoberfläche sich befinden müsse, es müßten denn Kräfte angenommen werden, die nicht nach den gewöhnlichen einfachen Gesetzen wirken. — Also auch nach Lamont's Hypothese ist es eine elektrische Strömung, welche die erdmagnetische Polarität bewirkt. Was aber die elektrische Strömung in der Atmosphäre betrifft, die gewiß nur sehr schwach sein kann, so möchte dieselbe wohl eben so gut durch einen von der Sonne bewirkten thermoelektrischen Gegensatz (auf dieselbe Weise wie in der Erdrinde) als durch eine directe Induction von Seiten der Sonne entstehen können.

Daß der letzte Grund der Variationen in der scheinbaren Bewegung der Sonne liege, kann keinem Zweifel unterworfen sein, und es scheint beinahe nach den oben gemachten Mittheilungen über Secchi's Untersuchungen, daß der Einfluß der Sonne ein directer sei. Früher war man der Ansicht, daß dieser Einfluß nur ein indirecter sei, namentlich nach den Untersuchungen von Schübler *), eben so von Farquharson **) über den Einfluß der Heiterkeit und Trübe des Himmels und von Kämtz ***) über den Einfluß des Windes auf die Deklinationsnadel. Doch folgt aus Kreil's Ergebnissen, zu denen er aus der Vergleichung seiner Beobachtungen über die Variationen der Deklination und horizontalen Intensität mit den gleichzeitig eingetretenen meteorologischen Verhältnissen, insbesondere der Heiterkeit der Luft und der Richtung des Windes, gekommen ist, daß zwischen beiden Klassen von Erscheinungen ein innerer Zusammenhang, wie zwischen Ursache und Wirkung, nicht stattfindet ****).

Neuerdings ist Faraday *****), in Folge seiner 1845 gemachten Entdeckung, daß alle Körper, starre wie flüssige, von dem Magnete angezogen oder abgestoßen werden, auf den Gedanken gekommen, daß, da die Atmosphäre zu zwei Neunteln ihres Gewichts aus einem magnetischen Körper bestehe, der durch die vermöge des täglichen und jährlichen Lauf's der Sonne bewirkte Temperatur- und Dichtigkeitsänderungen großen Veränderungen in seinem Magnetismus ausgesetzt ist, dies zugleich mit der Aenderung der Magnetkraft auf der Erdoberfläche zusammenhänge, und daß man hierin eine Erklärung finden könne von einem großen Theile der jährlichen, täglichen und auf kurze Zeit eintretenden unregelmäßigen Variationen, welche in der magnetischen Kraft der Erde vorkommen.

Er zeigt, daß der Sauerstoff der Luft höchst paramagnetisch ist, daß er bei unverändertem Volumen weniger magnetisch wird, so wie eine Veränderung stattfindet, daß er einen großen Theil seiner paramagnetischen Kraft verliert, so wie man seine Temperatur steigert und eine Ausdehnung gestattet, umgekehrt, daß bei Erniedrigung der Temperatur die Kraft zunimmt. Dies Verhalten bewahrt er bei der Vermischung mit Stickstoff in der Luft, so lange als seine physischen und chemischen Zustände unverändert bleiben; aber jede Operation, durch welche er in seiner Natur verändert oder zu Verbindungen genöthigt wird, mögen diese

---

*) Schweigger's Journ. Bd. XXVIII. S. 305.
**) Phil. Transact. 1830. Part. I.
***) Meteorologie. Bd. III. S. 440.
****) Wien. Acad. Bericht. Bd. XII. S. 847.
*****) Phil. Transact. 1851. Part. I. Pogg. Ann. Ergänzungsbd. III. (LXXXVII. b). S. 130 u. 187.

starr, flüssig oder gasig sein, nimmt ihm seinen paramagnetischen Charakter. Daher ist die Atmosphäre, in gewöhnlichem Sinne, ein höchst magnetisches Medium. Bei jeder Veränderung der Dichte, mag sie barometrischer oder thermometrischer Art sein, ändert dieses Medium sein magnetisches Verhalten. Ueberdies übt jede Temperaturvariation anscheinend ihren eigenen Einfluß in Zusatz zu dem aus, welchen eine bloße Volumenveränderung bewirkt, und keine dieser Veränderungen kann sich zutragen, ohne nicht die Magnetkraft der Erde zu afficiren und in deren Richtung und Intensität auf der Erdoberfläche Variationen hervorzurufen.

Wir können hier Faraday's ausführliche Auseinandersetzung über den atmosphärischen Magnetismus, wie er denselben benennt, nicht aufnehmen und müssen auf die Quelle verweisen. Nur sei bemerkt, daß nach seiner Hypothese die Wirkung der Sonne auf die Magnetnadel wieder eine indirecte sein würde. Die Sonne afficirt nach ihm an einem gegebenen Orte die Atmosphäre; die Atmosphäre afficirt die Richtung der Kraftlinien*), und diese afficiren die respective von ihnen beherrschten Nadeln. Er nimmt nicht an, daß die erwärmte oder erkaltete Luft magnetisch werde und nach Art eines Stück's Eisen direct auf die Magnetnadel wirke, entweder polar oder inductiv. Es wird von ihm für den Sauerstoff der Luft keine andere Polarität, als eine sogenannte Leitungspolarität, d. h. Concentration oder Expansion der Magnetkraftlinien in den als Leiter wirkenden Körpern, angenommen. Die Veränderung in dem magnetischen Leitvermögen bewirkt die Ablenkung der Kraftlinien, so daß die Wirkung der Atmosphäre blos dahin geht, die Kraftlinien zu biegen. Die Nadel wird von diesen Linien gehalten, ist ihnen parallel, wenn sie frei ist, und ändert ihre Lage mit denselben. Es ist nicht nöthig, daß die Linien, deren Richtung unmittelbar durch die veränderte Luft afficirt wird, dicht an der Nadel liegen; sie können vielmehr sehr fern sein. Die Gesammtheit der Magnetlinien um die Erde wird durch gegenseitige Spannung zu einem sensitiven Systeme verknüpft, welches nirgends Trägheit besitzt, sondern eine irgendwo eingetretene Veränderung überall fühlt. Erfolgt eine neue Vertheilung der Kraft, so wird, wenn nah oder fern eine Veränderung in der Richtung eintritt, die Nadel an einem gegebenen Orte dieselbe fühlen und mehr oder weniger stark anzeigen, je nach der Nähe des Ortes und der Art der Veränderung. Allein gleichzeitig ist die Anordnung des ganzen Systems verändert und deshalb werden auch alle übrigen Nadeln ergriffen, in Gemäßheit der Veränderungen, welche die sie individuell beherrschenden Kraftlinien erleiden. Die Nadel ist hier gewissermaßen eine Waage, an welche alle Magnetkraft rings um einen gegebenen Ort sich anhängt, selbst bis zu den Antipoden, und sie zeigt für jeden Ort jede Veränderung in der Größe und Anordnung derselben, mag sie nun nahe oder ferne eintreten. Ihre mittlere Lage ist ihre normale; und in Bezug

*) Faraday nennt magnetische Kraftlinien, die jeden magnetischen Körper umgeben, solche Linien, welche eine kleine Magnetnadel beschreibt, wenn man sie so fortbewegt, daß ihre Richtung fortwährend die Tangente zur Bewegungslinie bleibt. Nicht nur die Richtung, sondern auch die Intensität der magnetischen Kraft wird nach ihm durch diese Linien angezeigt. Die magnetischen Figuren, wenn man Eisenfeilicht auf ein über einen Magneten gelegtes Pappblatt streut, stellen solche magnetische Kraftlinien in der Ebene des Blattes vor.

auf atmosphärische Aenderung ist es die Befestigung der Kraftlinien in der Erde, welche — abgesehen von den säularen Aenderungen — diesen Linien eine normale Lage giebt, und sie sowohl wie die Nadel aus dem gestörten Zustande in den normalen zurückführt. —

Die Erscheinungen, welche man unter dem Namen des Erdmagnetismus zusammenfaßt, können wohl nicht direct durch eine magnetische Kraft, die ganz außerhalb der Erde, etwa in der Sonne ihren Sitz hat, bewirkt werden, so also, daß hierbei ein magnetischer Einfluß der Erde im Ganzen als gleichgiltig erscheint. Man weiß, daß eine frei bewegliche Magnetnadel über der Erdoberfläche im Wesentlichen dieselben Erscheinungen darbietet, als über einem größeren Magneten, woraus man denn auch längst geschlossen hat, daß der Erdkörper selbst, als Ganzes betrachtet, ein Magnet sei, wenn auch gerade nicht durch seine ganze Masse hindurch. Gauß hält die Hypothese für unstatthaft, welche die Ursache des Erdmagnetismus als außerhalb der Erde befindlich annimmt, bemerkt aber dabei, daß damit die Möglichkeit, daß ein Theil der erdmagnetischen Kraft, wenn auch verhältnißmäßig nur ein sehr geringer, von oben her erzeugt werde, noch nicht als entschieden widerlegt betrachtet werden dürfe, sondern daß vielmehr eine viel vollständigere und schärfere Kenntniß der Erscheinungen in Zukunft über diesen wichtigen Punkt der Theorie des Erdmagnetismus Aufschluß geben könne. Kommt der Erde, als Ganzes, magnetische Polarität zu, so kann diese nicht auf einige ausgezeichnete Punkte beschränkt sein, sondern wir müssen uns eine Kugelschale (der Erde) bis zu einer gewissen Tiefe als magnetisirt denken, so daß die Gesammtwirkung (nach bekannten Gesetzen des Magnetismus) aus den Partialwirkungen aller magnetisirten Theilchen (innerhalb dieser Schale) resultirt. Elektrische Ströme machen nun jeden Körper, den sie in bestimmter Richtung durchfließen, in bestimmter Weise zu einem Magneten, so daß der Gedanke, die erdmagnetische Polarität werde durch elektrische Ströme bewirkt, sehr nahe liegt. Und am einfachsten erscheinen thermoelektrische Ströme, welche die Erde dem scheinbaren Laufe der Sonne gemäß umfließen. Diese Ströme haben eine solche Richtung, wie sie sein müßte, um der Erde eine den gewöhnlichen Erscheinungen des Erdmagnetismus entsprechende Polarität zu verleihen. Von allen magnetisirten Theilchen des Erdkörpers werden nun Systeme von Kraftlinien ausgehen, welche in jedem Punkte des umgebenden Raumes eine bestimmte Wirkung ausüben müssen. Hierbei ist aber der Umstand, daß der Sauerstoff unserer Atmosphäre magnetischer Natur ist, gewiß ein sehr bedeutungsvoller Factor. Auch der Einfluß der Wärme auf den Erdmagnetismus erscheint von großer Bedeutung, so daß wohl jede thermische Veränderung des Erdkörpers mit einer entsprechenden magnetischen verbunden ist. Dove hat hierauf besonders aufmerksam gemacht. Auf der nördlichen Erdhälfte wird die Ostseite in der Frühe stärker erwärmt als die Westseite, dort also auch die Anziehung geschwächt, und die Magnetnadel geht deshalb mit ihrem Nordende nach West. Die Deklination nimmt also zu. Da aber die Südseite in Verlauf des Tages eine höhere Temperatur annimmt als die Nordseite, so wird die Inklination Vormittags abnehmen. Dagegen wird die Intensität des Erdmagnetismus vom Morgen an wachsen, weil, wenn die Intensität im Süden schwächer wird, sie im Norden mehr hervortreten muß. Je geringer nun die Veränderungen der Wärme innerhalb eines gegebenen Zeitraums sind, desto geringer werden auch die Veränderungen des Erdmagnetismus sein. Die letzteren sind

deshalb des Nachts geringer als am Tage, im Sommer aber größer als im Winter, bei bedecktem Himmel kleiner als bei heiterem 2c.

Wie wenig wir dermalen festzustellen vermögen über die hier möglicherweise zur Geltung kommenden Einflüsse, das sieht man recht klar an einer Aeußerung Sabine's. Derselbe theilt mit *), daß in Toronto (43° 39′ 35″ n. Br., 79° 21′ 30″ westl. L. v. Gr.) und Hobarton (42° 52′,5 s. Br., 147° 27′,5 östl. L. v. Gr.), welche Stationen auf der Erde nahe einander gegenüberliegen, die ganze magnetische Kraft vom October bis Februar inclusive größer sei, als vom April bis August, und die Neigungsnadel senkrechter stehe vom October bis Februar und mehr horizontal vom April bis zum August. Hieran knüpft er die Fragen, ob diese Erscheinung wohl zusammenhänge mit der von Dove gefundenen jährlichen periodischen Veränderung der Temperatur des ganzen Erdkörpers, welche Temperatur am höchsten ist vom April bis zum August? oder ob sie eine directe magnetische Folge sei der vom October bis zum Februar hin größeren Sonnennähe, wenn man die Sonne als inducirende Ursache des Erdmagnetismus ansieht? oder ob sie die Folge sei der vom October bis Februar größeren Geschwindigkeit der Bewegung der Erde in ihrer Bahn in Gegenwart elektrischer den Weltraum durchfließender Ströme? — Ueberdies macht Sabine **) darauf aufmerksam, daß man sich nicht auf die Untersuchung der täglichen Veränderungen der magnetischen Elemente und der sogenannten magnetischen Störungen beschränken müsse, wie es in letzter Zeit meist geschehen sei, da diese nur als die Effecte geringerer Kräfte betrachtet werden können, man habe vielmehr die Untersuchung auf die Gesammtheit der Erscheinungen auszudehnen, welche in Betreff des magnetischen Zustandes unseres Planeten entweder dauernd oder vorübergehend hervortreten, also auf die Bestimmung der mittleren numerischen Werthe der Elemente des Erdmagnetismus in Beziehung auf ihre Richtung und ihre Intensität an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche. H. E.

Magnetoelektricität. Unter diesem Namen faßt man nicht selten diejenigen elektrischen Erscheinungen zusammen, welche der Magnetismus in Leitern der Elektricität bewirkt. Die durch den Magnetismus erregten, sogenannten magnetoelektrischen Ströme gehören aber zur Klasse derjenigen, welche jetzt gewöhnlich Inductionsströme genannt werden. Von denselben ist ausführlicher die Rede im Art. Induction, elektrische (Bd. IV. S. 8), wo bezüglich der Magnetoelektricität S. 12 ff. zu vergleichen ist.

Ueber die Reciprocität der elektromagnetischen und magnetoelektrischen Erscheinungen hat Plücker ***) eine Untersuchung angestellt, aus der wir folgende Resultate entnehmen. „Wenn ein geradliniger und als unbegrenzt zu betrachtender Leiter und irgend zwei Punkte gegeben sind, so ist die Stromerregung durch einen magnetischen Pol immer dieselbe, gleichviel auf welchem Wege der Magnet von dem einen Punkte zu dem anderen in gleichem Sinne bewegt wird. Insbesondere ist diese Erregung dieselbe, wenn der magnetische Pol von einer beliebigen Lage ausgeht, und nachdem er eine beliebige Curve, den Leitungsdraht umkreisend,

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 478.
**) Krönig Journ. Bd I. S. 331. Phil. Transact. 1850. Part. I. p. 201.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 352.

durchlaufen hat, wieder zu der ursprünglichen Lage zurückgeht. Hiernach ist, wenn auch die Dauer der jedesmaligen Umkreisung des Drahtes sich gleich bleibt, die elektromagnetische Kraft und, bei gleichem Widerstande, auch die Stromstärke dieselbe. Wenn die in sich geschlossene, von dem Pol beschriebene, Curve den Leitungsdraht nicht umschließt, so verschwindet die Stromerregung oder vielmehr die bei jeder Umkreisung des Leitungsdrahtes stattfindenden entgegengesetzten Stromerregungen heben sich gegenseitig auf.

Wenn ein magnetischer Pol eine unbegrenzte gerade Linie durchläuft, so ist die Erregung des Stromes immer dieselbe, wie auch der Träger desselben von einem ersten festen Punkte geleitet wird. Insbesondere ist diese Erregung auch dann dieselbe, wenn der Leitungsdraht sich um den magnetischen Pol in irgend einer beliebigen in sich geschlossenen Curve hinzieht, und zwar auch derjenigen in einem unbegrenzten geradlinigen Leiter gleich, um welchen derselbe Pol in einer beliebigen in sich geschlossenen Curve sich herumdreht. Die Erregung verschwindet für jeden in sich geschlossenen Leiter, wenn die von dem Pole beschriebene gerade Linie außerhalb desselben liegt."

Einen Beitrag zur Theorie der magnetoelektrischen, insbesondere der Saxton'schen Maschine, hat Koosen *) gegeben. Er zeigt, daß auch bei einer solchen Maschine eine Umwandelung von Kraft in Arbeit vor sich gehe, und auf welche Weise man sich von dieser Umwandlung Rechenschaft geben könne. Derselbe ermittelte, daß während der Entwickelung des magnetoelektrischen Stromes die Punkte der größten Polarität der Eisenkerne, wie deren magnetische Indifferenzpunkte mit zunehmender Stromstärke mehr und mehr sich von ihrer ursprünglichen Ruhelage gegenüber den Polen der Stahlmagnete verschieben. Da nun das magnetische Maximum immer erst dann eintritt, wenn der Eisenkern vom Magnetpol entfernt wird, so muß auch der Kraftaufwand, um diese Entfernung zu bewerkstelligen, immer größer als die während der Hinbewegung des Eisenkerns zum Magnetpole durch die magnetische Anziehung beider Theile hervorgebrachte Kraft sein, so daß also im Ganzen, während die Inductionsspirale geschlossen ist und der Strom in derselben circulirt, ein gewisses Quantum von Arbeit durch die Rotation des Inductors verbraucht wird. Dieses gleiche Quantum muß sich dann, nachdem es in Elektricität verwandelt worden, aus dieser wieder gewinnen lassen, z. B. durch Vermittelung einer elektromagnetischen Maschine.

Im Art. Induction, elektrische S. 44 ist hervorgehoben worden, daß Sinsteden an den Enden der ungeschlossenen Inductionsspirale einer magnetoelektrischen Maschine freie Elektricität von einer gewissen Spannung wahrgenommen habe. Diese Spannungselektricität gab sich zu erkennen durch Funken, schmerzhafte Einwirkungen auf dünne Hautstellen und durch Erschütterungsschläge. Dieselben Erscheinungen beobachtete er auch an einer Volta-elektrischen Inductionsrolle, so wie auch am Stahlmagnet jener Maschine und am Eisendrahtbündel dieser Rolle. Sinsteden **) fand nun weiter, daß die Funken und Erschütterungsschläge, welche man erhält, wenn man das eine Ende der inducirten, und ein Ende der inducirenden Drahtrolle, durch welche ein Volta'sches Element abwechselnd

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 386.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 465.


106 *



geschlossen und geöffnet wird, anfaßt, einmal eine reine Wirkung der Spannungselektricität sind, die hier immer nur momentan auftritt, und der die durch Isolation und Bindung zu bewirkende Dauer noch abgeht, und zweitens, daß diese Erscheinungen durchaus nicht an die Drahtform gebunden sind. Funken und Erschütterungsschläge bleiben ganz dieselben, oder werden vielmehr noch verstärkt, wenn man in dem Versuche die Drahtform mit der Flächenform vertauscht. Der inducirende und inducirte Spiraldraht ist nothwendig, um eine Ladung zu bewerkstelligen, wie die Glaselektrisirmaschine nothwendig ist, um eine Leidener Flasche zu laden; aber die Erschütterung und Funken verursachende Entladung der vollständig von einander isolirten beiden Spiraldrähte hat mit der Drahtform nichts zu thun, eben so wenig, wie die Entladung einer Leidener Flasche mit der Glaselektrisirmaschine noch etwas zu schaffen hat. Sinsteden hat nun eine Vorrichtung angegeben, welche an einer Volta-elektrischen Inductionsrolle und an der magnetoelektrischen Saxton'schen Maschine leicht anzubringen ist, und von ihm Ladungstafel genannt wird, weil sie die Stelle einer gewöhnlichen Leidener Flasche vertritt, deren Ladung aber keine Schwierigkeiten macht, die sich vielmehr unaufhörlich von selbst ladet und entladet, und zwar, wie Sinsteden bemerkt, mit einer solchen Energie, daß die hellglänzenden und knallenden Entladungsfunken, welche zwei Linien lang frei durch die Luft fahren, eine sechsfache Lage von Schreibpapier unausgesetzt durchbohren. Bezüglich der näheren Einrichtung dieser Ladungstafel müssen wir hier auf die citirte Abhandlung selbst verweisen.

Durch den Magnetismus können nicht nur in starren Elektricitätsleitern, sondern auch in tropfbaren Flüssigkeiten, z. B. wie Quecksilber und geschmolzenen Metallen, elektrische Ströme inducirt werden. Faraday *) hat nun dargethan, daß auch in anderen Flüssigkeiten solche Inductionsströme hervortreten können. Als inducirender Magnet diente ein kräftiger Elektromagnet, welcher durch eine Grove'sche Batterie von 20 Plattenpaaren hergestellt wurde. Mit demselben stand ein Anker aus weichem Eisen in der Form eines cylindrischen Stabes in Verbindung. Die Flüssigkeit befand sich in einer Schraubenröhre aus geschwefeltem Kautschuk, welche so vorgerichtet war, daß jeder in ihr inducirte Strom eine entgegengesetzte Ablenkung am Galvanometer hervorbringen mußte, als die directe Wirkung des Magnets. Das Galvanometer befand sich in angemessener Entfernung vom Magneten und war durch dicke Kupferdrähte, die in Quecksilber tauchten, mit der Schraubenröhre verbunden. Die letztere wurde zunächst mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, und die Ablenkung der Galvanometernadel, welche von dem durch Berührung der Säure mit den Kupferenden erregten galvanischen Strome hervorging, gehörig berücksichtigt. Da dieser Strom eine constante Kraft zeigte, so ließ er sich leicht von den zu beobachtenden Endresultate unterscheiden. Als der Magnet in Thätigkeit gesetzt wurde, wich die Nadel des Galvanometers in einer Richtung aus und beim Oeffnen der Batterie nach der anderen Seite, und zwar in der eigenthümlichen bei Inductionsströmen beobachteten Weise. Nach Faraday ist die Stärke dieser Inductionsströme dem Leitungsvermögen der Flüssigkeit, in welcher sie erregt werden, proportional.

In technischer Beziehung ist zu bemerken, daß Verdu und Savare statt

*) Phil. Mag. Ser. IV. Vol. VII. p. 256.

des Stromes der galvanischen Batterie Inductionsströme zur Entzündung von Minen verwendet haben. Verdu verband zuerst zu diesem Behufe die Bunsen'sche Batterie mit dem Ruhmkorff'schen Inductionsapparat, so daß bei der ersteren die Zahl der Elemente auf zwei eingeschränkt wurde. Alsdann machte er die galvanischen Elemente ganz entbehrlich, indem er an deren Stelle den Clarke'schen Apparat setzte, mit dessen Hülfe er Minen auf 5600 Meter Entfernung unter Wasser entzündete. Savare wandte ebenfalls Inductionsströme an, und gab namentlich den Zündbüchsen eine vortheilhafte Einrichtung *).

Es ist bekannt, daß ein Eisendraht, der Einwirkung des Erdmagnetismus unterworfen, sich andauernd magnetisirt, sobald er einer bedeutenden und andauernden Torsion (Drehung) ausgesetzt wird. Die Torsion soll hier in gleicher Weise wie jede andere mechanische Erschütterung begünstigend auf das Hervortreten des Magnetismus wirken. Wertheim **) hat jedoch durch Versuche nachzuweisen gesucht, daß die Torsion in einer ganz speciellen Weise wirksam sei. Die Torsion bewirkt nach ihm temporäre magnetische Effecte, wenn sie selbst temporär ist, und permanente, wenn sie permanent ist; und diese Effecte können auf keine andere Weise von mechanischen Kräften hervorgebracht werden. Ein bis zur Sättigung magnetisirter Eisenstab demagnetisirt sich in dem Moment, wo er eine temporäre Torsion erleidet, und remagnetisirt sich im Moment der Detorsion. Unter Magnetisirung bis zur Sättigung wird der magnetische Gleichgewichtszustand verstanden, in welchem sich das Eisen befindet, welches allen Magnetismus angenommen hat, den es unter der Wirkung eines gegebenen Stromes zu erlangen vermag, oder welches, nach der Unterbrechung dieses Stromes, allen Magnetismus schon verloren hat, den es nicht behalten kann. So lange dieses Gleichgewicht nicht hergestellt ist, wirken die Torsionen und Detorsionen nur wie jede andere mechanische Erschütterung.

Zur Anstellung des Versuches wurde ein wohl ausgeglühter Stab aus weichem Eisen, von 1 Meter Länge und 15 Millimeter Durchmesser, an einem seiner Enden befestigt, während das andere sich im Mittelpunkte eines Rades befand, mittelst dessen man es nach beiden Richtungen hin drillen (drehen) konnte. Derselbe trug zwei Drahtrollen, deren eine zur Aufnahme des Stromes einer einfachen Daniell'schen Kette bestimmt war, während die andere den Inductionsstrom leitete. Die letztere war mit einem empfindlichen Galvanometer mit astatischer Nadel verbunden, und beide Drahtrollen waren hinreichend von einander entfernt, damit keine directe Induction stattfinden konnte. Bei Herstellung eines Stromes ging die Nadel auf 90° nach der Rechten; der Nordpol war eingespannt, der Südpol gedrillt. Hatte der Strom die umgekehrte Richtung, so war der Südpol eingespannt und der Nordpol gedrillt, und die Nadel wich links ab. Wertheim veranschaulicht den Gang des Versuches durch eine Tafel. Derselbe bemerkt, daß man die Coërcitivkraft eines jeden Eisens messen könnte durch die Anzahl der Torsionen, welche nöthig sind, um es auf den Sättigungspunkt zu bringen.

Wenn ein Eisenstab (oder ein Bündel Eisendrähte) mittelst einer starken und permanenten Torsion unter Wirkung des terrestrischen Magnetismus oder sonst

*) L'Inst. Nr. 1062. p. 158.
**) Compt. rend. T. XXXV. p. 702. Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 331.

eines Stromes magnetisirt worden ist, so verhält er sich nicht wie ein gewöhnlicher Magnet. Jede temporäre Torsion oder Detorsion, welche im Sinne der permanenten Torsion auf denselben wirkt, erzeugt eine Magnetisirung oder einen directen Strom, und jede Torsion und Detorsion, die im entgegengesetzten Sinne wirkt, erzeugt eine Demagnetisirung oder einen umgekehrten Strom. Der betreffende Versuch läßt sich leicht anstellen mit zwei Bündeln von gleichem Eisendraht, die man senkrecht aufhängt und so drillt, daß das eine eine rechtslaufende und das andere eine links laufende Schraubenlinie bildet. Beide haben den Nordpol oben und den Südpol unten. Ihre Einschiebung in die Spirale macht die Nadel rechts abweichen. Hat man aber den Nordpol eines dieser Bündel eingespannt, und giebt dem Südpol temporäre Torsionen, so sieht man, daß eine Torsion von gleichem Sinne entgegengesetzte Ströme hervorbringt, je nachdem man sie an dem einen oder dem anderen dieser Bündel angebracht hat. Man braucht also nur, wie Wertheim bemerkt, dem Apparate einen Commutator hinzuzufügen, und damit nach jeder Oscillation den Strom umzukehren, um, mittelst drehender Schwingungen, einen continuirlichen Strom zu erhalten, den man würde sehr intensiv machen können.

Der Volta-Inductionapparat, bei welchem die Induction elektrischer Ströme durch eine von einem galvanischen Strome durchflossene Spirale bewirkt wird, hat eine verbesserte Einrichtung durch Poggendorff *) erfahren, welche sich namentlich auf eine vortheilhaftere Construction der sogenannten Inductionsrolle, in welcher der inducirte Strom entwickelt wird, und auf den Condensator bezieht, welcher mit einem solchen Apparate zur Verstärkung mancher Wirkungen der Inductionselektricität verbunden werden kann. Die verschiedenen Erscheinungen an diesem Apparate sind von Poggendorff an dem bezeichneten Orte beschrieben.

Magnetometer sind die großen Stabmagnete, welche Gauß zur Bestimmung der periodischen Variationen des Erdmagnetismus und zur Messung der absoluten Intensität desselben benutzte.

Da das Verständniß wesentlich erleichtert wird durch Kenntniß der ganzen Gauß'schen Beobachtungsweise, so geben wir im Folgenden nach den Resultaten des Göttinger Vereins im Jahre 1836, Göttingen 1837, eine ausführlichere Beschreibung.

Zur Aufstellung der magnetischen Instrumente eignet sich am besten ein länglich viereckiger Saal, der nach der Richtung des magnetischen Meridians ungefähr 11 Meter Länge hat. Der Saal muß helles Licht haben, vorzüglich von Osten und Westen her, und an demjenigen Ende, wo der Theodolith oder das Fernrohr nebst Scala, zum Beobachten, aufgestellt werden sollen. Uebrigens wird erfordert, daß der Saal vor Luftzug geschützt ist, und daß ein festes Fundament vorhanden sei, auf welchem ein Theodolith und eine Uhr aufgestellt werden können. Auch ist zu wünschen, daß von der Stelle des Theodolithenfernrohrs aus durch eines der Fenster ein entferntes Object zu sehen sei, dessen Azimuth bekannt ist. Es ist ferner wünschenswerth, daß das ganze Gebäude in keinem seiner Theile Eisen enthalte; der Fußboden in der Nachbarschaft des Instrumentes muß jedenfalls davon frei sein.

*) Ann. Bd. XCIV. S. 310.

Die Uhr und der Theodolith müssen 5 bis 6 Meter von dem Instrumente entfernt stehen, in welcher Entfernung etwa magnetische Theile derselben einen nicht bemerkbaren Einfluß ausüben. Außer dem Umkreise des Saales haben kleine Eisenstücke noch weniger Einfluß; aber die Einwirkung größerer Anhäufungen von Eisen, z. B. eiserner Geländer in einer Entfernung von weniger als 100 Fuß darf nicht vernachlässigt werden. Ein solches Local ist für die Deklinations- und Intensitätsmessungen, so wie zur Beobachtung der Variationen genügend. Auch Inklinationsmessungen können in demselben Locale vorgenommen werden, jedoch nicht ohne Unterbrechung der übrigen Beobachtungen, weshalb es angemessen erscheint, für die Inklinationsmessungen ein eigenes Local einzurichten. Wo keine absoluten Messungen gemacht, sondern nur die Deklinationsvariationen an den dazu verabredeten Terminen beobachtet werden sollen, sind im Betreff des Locales nicht so ängstliche Rücksichten hinsichtlich des Eisens zu nehmen, wenn nur das Eisenwerk während der Beobachtungen unverrückt bleibt.

Zur Aufstellung der Instrumente in diesem Saale ist es wesentlich, eine Linie, z. B. auf dem Fußboden, zu ziehen, welche den magnetischen Meridian bezeichnet. Diese Linie muß nahe durch die Mitte des Saales gehen und an ihrem südlichen oder nördlichen Ende die Stelle treffen, wo sich ein festes Fundament für die Aufstellung des Theodolithen und der Uhr befindet. Wenn dies Fundament errichtet und der Theodolith darauf gestellt ist, so befestige man zuerst eine Scala an dem Stative unter dem Fernrohre, so daß ein vom Objective des Fernrohres herabgefälltes Perpendikel frei vor der Scala vorbeigeht. Diese Scala soll horizontal und rechtwinkelig gegen den magnetischen Meridian stehen und nach Belieben etwas höher oder tiefer gestellt werden können. Der durch die optische Axe des Fernrohres gehende magnetische Meridian soll sie halbiren. Hierauf fälle man von der Decke auf den Fußboden ein solches Perpendikel, daß die durch dasselbe gelegte magnetische Meridianebene die optische Axe des Fernrohrs enthalte, und daß, wenn das **Magnetometer** an diesem Perpendikel aufgehangen wird, die Abstände der spiegelnden Ebene des Magnetometers von der Scala und vom Fernrohre zusammen so groß sind, wie der Abstand des Fernrohrs von einem an der gegenüberliegenden Wand bezeichneten Punkte, welcher als Mire dient, auf den das Fernrohr eingestellt werden kann. An der Stelle der Decke, von der dies Perpendikel herabgefällt wurde, soll der **Träger** des Magnetometers nebst **Hebeschraube** und **Faden** befestigt werden. Man hänge an den von der Hebeschraube herabhängenden Faden vorläufig ein Gewicht als Senkel an, verschiebe den Träger an der Decke so lange, bis dieser Senkel mit jenem Perpendikel zusammenfällt und richte dabei den Träger seiner Länge nach der nördlichen oder südlichen Wand des Saales parallel. Hierauf wird die Höhe des Trägers, des Fernrohrs und der Scala über dem Fußboden gemessen. Von der ersten Höhe wird die halbe Summe der beiden letzteren abgezogen, und ein Faden aus parallelen Coconfäden gebildet, der diese Differenz zur Länge hat und stark genug ist, um das Magnetometer nebst 1 Kilogramm Belastung zu tragen. Das obere Ende dieses Fadens wird an der Schraube befestigt, das untere Ende am **Schiffchen**, in welches der Magnetstab eingelegt werden kann. Unter dem Magnetstab wird ein **weiter** Kasten gestellt, auf dessen Boden sich zwei Lager befinden, auf welche der Magnetstab, im Falle die Coconfäden rissen, fallen würde, ohne Gefahr für den Spiegel, der am vorderen Ende des Magnetstabes befestigt ist.

Nach diesen Vorbereitungen können die genaueren Abmessungen beginnen, nämlich:

1) die magnetische Axe des Magnetes horizontal und den Spiegel darauf perpendicular zu stellen, oder den kleinen Winkel zu messen, den die Spiegelaxe mit der magnetischen macht;
2) beim mittleren Stande des Magnetes die Torsion des Fadens auf Null zu bringen, oder den kleinen Rest der Torsion zu messen;
3) das Verhältniß des Torsionsmomentes des Fadens und des magnetischen Momentes des Stabes bei einer Ablenkung zu bestimmen;
4) die Stelle für die Mire an der dem Fernrohre entgegenstehenden Wand abzumessen.

Auf diese Weise ist der Apparat zu den Deklinationsmessungen vorbereitet, welche bestehen:

1) in Messung des Azimuths der Mire;
2) in Bestimmung des Werthes der Scalentheile;
3) in Bestimmung der Schwingungen und Elongationen.

Für die Intensitätsmessungen wird außerdem die Auflegung von Meßstangen erfordert, nach welcher die Lage des Ablenkungsstabes bestimmt wird. Diese Meßstangen können zu beiden Seiten des Kastens, in welchem das Magnetometer eingeschlossen wird, horizontal und dem magnetischen Meridiane parallel gelegt werden, in der Art, daß die Linien, welche entsprechende Punkte beider Maße verbinden, horizontal und rechtwinkelig gegen den magnetischen Meridian sind. Diese Stangen können so hoch gelegt werden, daß der auf ihnen aufgelegte Ablenkungsstab in gleicher Höhe mit dem schwingenden Stabe sich befindet. Wenn dies nicht der Fall ist, muß der Verticalabstand jenes auf den Meßstangen liegenden Ablenkungsstabes und des schwingenden Stabes gemessen werden. Die Meßstangen müssen 5 bis 6 Meter Länge haben und nach Süden und Norden fast gleich weit das Magnometer überragen. Wenn es die Breite des Saales gestattet, ist es vortheilhaft, eine dritte Meßstange horizontal und rechtwinkelig mit den beiden vorigen zu verbinden. Sie kann so unter dem Kasten des Magnetometers weggehen, daß sie von einem Perpendikel getroffen wird, der von der Mitte zwischen dem Aufhängepunkte und Schwerpunkte des schwingenden Stabes herabgefällt wird. Die Meßstangen müssen ihrer Länge nach etwas verschoben werden können, um sie so einzustellen, daß der Ablenkungsstab, auf entsprechende Punkte vor und hinter dem Kasten aufgelegt, gleiche Ablenkungen hervorbringt. Nach diesen Vorbereitungen besteht die Intensitätsmessung:

1) in der Bestimmung des Trägheitsmomentes des Ablenkungsstabes;
2) in der Messung der Schwingungsdauer des Ablenkungsstabes;
3) in der Messung der Ablenkung eines aufgehangenen Hülfsstabes durch den Ablenkungsstab bei 2 verschiedenen Entfernungen des letzteren im Süden und Norden oder im Osten und Westen vom Magnetometer.

Vorstehendem fügen wir noch einige Bemerkungen und nähere Erläuterungen hinzu.

Der Abstand des Spiegels von dem Fernrohre und von der Mitte der Scala, über welche ein vom Theodolithenfernrohre herabgesenktes Loth weggeht, sind zusammen so groß, wie der Abstand des Fernrohres von der Mire.

Bei Beobachtung der Deklinationsvariationen braucht das Fernrohr nur in verticaler Ebene drehbar zu sein, und wird von Zeit zu Zeit statt auf den Spiegel auf die Mire gerichtet, um zu prüfen, ob das Fernrohr noch festgestanden hat. Das Fernrohr muß bei 5 Meter Abstand der Scala und des Fernrohres vom Spiegel wenigstens eine dreißigmalige Vergrößerung geben.

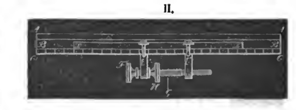
Die Uhr muß deutlich Secunden schlagen und das Zifferblatt von dem Beobachter bequem zu sehen sein. Ein Chronometer ist ausreichend.

Das Magnetometer besteht für die Deklinationsmessungen aus folgenden nothwendigen Theilen: dem Magnetstabe, dem Schiffchen nebst Torsionskreise, dem Träger nebst Schraube und Faden, dem Spiegel und Spiegelhalter, dem Torsionsstabe, der Scala und dem Beruhigungsstabe, wozu für die Intensitätsmessungen noch folgende Theile kommen: die Meßstangen, der Ablenkungsstab, die Gewichte und der Gewichtshalter.

Beistehende Figur I. zeigt den Träger nebst Schraube und Faden von Westen gesehen. A A ist ein an die Decke befestigtes Brett, B B sind zwei darauf befestigte parallele Holzleisten, zwischen denen sich ein Schieber D D von Osten nach Westen bewegen läßt, der von zwei vorspringenden Leistchen C C getragen wird; am Schieber sind durch Schrauben die messingenen Lager E (s. Figur II.) befestigt, durch welche die Hebeschraube in der Richtung von Osten nach Westen hindurchgeht; F ist ihr Schraubenkopf am westlichen Ende, der in der ersten Figur die Schraube selbst verdeckt; G ist der an der Schraube befestigte Faden.

Figur II. stellt denselben Träger nebst Schraube und Faden von Süden gesehen vor. A A ist hier Längendurchschnitt des Brettes; B B die nördliche an dasselbe befestigte Leiste; C C das Leistchen zum Tragen des Schiebers; D D der Schieber seiner Länge nach mit den messingenen Lagern E E'. Durch diese

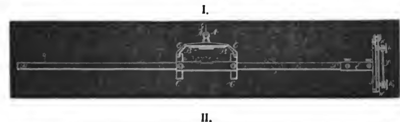
I. II.



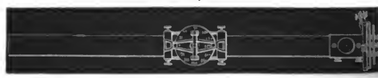
Lager geht die Hebeschraube hindurch, deren Kopf F ist. Diese Schraube greift mit ihrem Gewinde in das Lager E ein und wird daran von der Gegenmutter H festgedrückt. Das Schraubenende bei E' ist glatt, wie die Oeffnung des Lagers E'. Am Ende der Schraubengewinde ist der Faden G befestigt und liegt in den Schraubengängen, in denen er bis zur Mitte zwischen beiden Lagern fortläuft, von da senkrecht herabhängt und am unteren Ende das Schiffchen des Magnetometers trägt. Soll der Faden gehoben werden, so wird die Gegenmutter H gelöst und dann die Schraube am Schraubenkopfe F in ihren Lagern gedreht, wobei der Faden stets unverrückt an seinem ursprünglichen Orte bleibt, da die Schraube mit ihrem Gewinde sich stets eben so viel vorwärts oder rückwärts schraubt, als der Faden nach der entgegengesetzten Seite weiter rückt.

Zur näheren Kenntniß des Magnetometertheiles, dessen Schwingungen eben beobachtet werden sollen, geben wir die Ansicht von Westen und von oben.

I.



II.



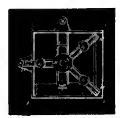
Zunächst bemerken wir zwei Haken A A, von denen in der ersten Figur der hintere von dem vorderen verdeckt wird. An einem unter diese beiden Haken greifenden Stifte wird das untere Ende des Fadens G befestigt. B B ist der Torsionskreis; C C C C das Schiffchen; D D der Magnetstab und E der Spiegelhalter mit zwei Rähmchen F F', H H und den zur Aufnahme des Spiegels S dienenden Klemmen K K. Mit Ausnahme des Magnetstabes D D, der allein 1700 Gramm wiegt, und des Spiegels, der ziemlich dick sein muß, damit er sich nicht biegt, sind alle übrigen Theile aus dünnem Messing gearbeitet, um das Trägheitsmoment des Magnetometers nicht zu sehr zu vergrößern. Der Faden, der das Schiffchen trägt, ist nicht am Schiffchen unmittelbar, sondern an einem Stifte angebunden, der unter die Haken A A greift, um, ohne seine Befestigung zu lösen, vom Schiffchen abgenommen werden zu können. Der Stift ist mit zwei, ungefähr 40 Millimeter von einander abstehenden Spitzen versehen und greift damit in zwei kleine Vertiefungen der beiden Haken ein. Die beiden Federn unter dem Stifte halten denselben, wenn das Schiffchen auch in die Höhe gehoben wird. Bei bedeutender über 3 Meter betragender Höhe und großem Gewichte des Magnetstabes wählt man zum Aufhängen einen Eisendraht von etwa doppelt so großer Tragkraft, als das Gewicht des Stabes beträgt, andernfalls einen Faden von 200 parallelen Coconfäden, von denen jeder 30 Gramm trägt. Der Torsionskreis B B ist mit einem verticalen Zapfen versehen, dessen oberes Ende die Haken A A trägt und der von dem darum drehbaren Schiffchen umschlossen wird. Das Schiffchen selbst ruht auf der Peripherie des Torsionskreises, wird jedoch durch seine Reibung an derselben verhindert, sich zu drehen. Der Spiegelhalter wird mittelst einer Hülse E an dem einen Ende des Magnetstabes aufgesteckt und durch 6 Klemmschrauben festgeklemmt, von denen sich zwei an jeder schmalen Seite und zwei über der breiteren befinden. An dieser Hülse ist ein um eine verticale Axe drehbares Rähmchen F F' angebracht. Eine kleine Druck- und Klemmschraube, die zur Verstellung und Feststellung dieses Rähmchens dienen, befinden

III.



sich auf der abgewendeten Seite der Figur und sind deshalb nicht sichtbar. Mit diesem ersten Rähmchen ist ein zweites, um eine horizontale Axe bei F' drehbares Rähmchen K K verbunden, welches gegen das erstere mittelst der oberhalb (s. Fig. I. S. 849) sichtbaren Druck- und Klemmschraube gleichfalls verstellt und festgestellt werden kann. An diesem zweiten Rähmchen sind 3 Klemmen angebracht, welche den Spiegel S aufnehmen sollen. An der ersten Figur sind nur 2 dieser Klemmen sichtbar bei K und K', weil K' die dritte verdeckt.

Um von dem Spiegel eine noch deutlichere Anschauung zu verschaffen, geben wir noch die Ansicht desselben von Süden. Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung. Das Rechteck zwischen E und E'' ist der Querschnitt der Hülse des Spiegelhalters. Diese Hülse hat auf der einen Seite zwei Vorsprünge E' E', welche die verticale (in der Figur horizontale) Axe des Rähmchens F F F' F' bilden. Bei E'' ist ein dritter Vorsprung, gegen welchen die Druck- und Klemmschraube wirken, die zur Verstellung und Feststellung dieses ersten Rähmchens dienen. Bei F' F' ist an diesem ersten Rähmchen eine horizontale (in der Zeichnung verticale) Axe angebracht, um welche sich das zweite Rähmchen H H H H drehen kann. Dieser Axe gegenüber sind an beiden Rähmchen kleine Vorsprünge, die durch Druck- und Klemmschrauben ebenfalls gegenseitig verstellt und festgestellt werden können. In dem zweiten Rähmchen befinden sich 3 Schlitze H H, H H, H H, in welchen 3 kleine Schieber verschoben und festgestellt werden können. Durch diese Einrichtung wird der Raum zur Aufnahme des Spiegels der Größe desselben angepaßt. Diese 3 kleinen Schieber endigen nach Süden mit 3 kleinen verticalen Kreisflächen, auf welche die Kehrseite des Spiegels mit ihren Rändern aufgelegt wird, während der Kopf einer Schraube, deren Gewinde am Spiegelrande vorbei in den Schieber eingreift, auf die Vorderfläche drückt.



Die umstehend folgende Figur veranschaulicht die Aufstellung des Fernrohres zum Spiegel und zur Scala. Ist das Fernrohr ein astronomisches, so müssen die Zahlen über der Theilung stehen. Daß die Zahlen so geschrieben sein müssen, daß man sie nach der Spiegelung richtig stehen sieht, versteht sich von selbst. Die Scala ist wenigstens 1 Meter lang.

Das Loth am Objective des Fernrohres besteht aus einem feinen Drahte von dunkler Farbe, ist unten mit einem Gewichte beschwert und wird oben am Rande des Objectivs so befestigt, daß es genau über der Mitte des Objectivs herabhängt.

Der Spiegel hat 50 bis 70 Millimeter Höhe und 70 bis 100 Millimeter Breite und muß vollkommen eben sein.

Das Schiffchen muß so gestaltet sein, daß der Magnetstab umgelegt werden kann, d. h. daß er, sowohl mit seiner breiten, als schmalen Seite aufgelegt, hineinpaßt. Es geschieht dies deshalb, um die Lage des Spiegels gegen die magnetische Axe des Magnetstabes genau bestimmen zu können.

Das Magnetometer befindet sich in einem Kasten, um es vor Luftströmungen zu schützen. Der bewegliche Deckel des Kastens ist aus zwei Theilen zusammengesetzt, und in demselben befindet sich eine kleine Oeffnung für den Faden. Die

dem Fernrohre gegenüberstehende Wand hat eine Oeffnung etwa von der Größe des Spiegels, um die von demselben reflectirten Scalentheile ablesen zu können.

Um den Kasten herum sind Meßstangen aufgelegt, die dazu dienen, im Süden und Norden oder im Osten und Westen des Magnetometers in vorgeschriebenen Entfernungen und in vorgeschriebener Lage einen anderen Magnetstab aufzulegen, welcher den hängenden Stab aus dem magnetischen Meridiane ablenken soll.



Um zu erkennen, ob der Faden, an welchem der Magnetstab hängt, bei der mittleren Stellung des letzteren seine natürliche, nicht von einer Drehung des Fadens bedingte, Lage habe, wird statt des Magnetstabes ein messingener Stab von gleicher Länge und Breite und fast gleichem Gewichte, in welchem nur ein kleiner Magnet eingelegt ist, um die Schwingungsdauer etwas abzukürzen, in das Schiffchen gelegt, und dieser sogenannte Torsionsstab mittelst des Torsionskreises in den magnetischen Meridian gebracht. Dieser Torsionsstab muß ebenfalls mit Spiegel und Spiegelhalter versehen sein.

Zur Intensitätsmessung wird ein zweiter Magnetstab von gleichen Dimensionen wie der Hauptstab erfordert, der ebenfalls in das Schiffchen eingelegt werden kann. Derselbe muß auch als Ablenkungsstab dienen, weshalb er in ein hölzernes Kästchen gepaßt wird, das außen mit ebenen, seiner magnetischen Axe parallelen Flächen und geraden Kanten begrenzt ist, um ihm auf den Meßstangen schnell und genau seine Stelle anweisen zu können. Da man bei Intensitätsmessungen das Trägheitsmoment des Ablenkungsstabes wissen muß, so legt man über den schwingenden Magnetstab quer einen dünnen, über 700 Millimeter langen, Holzstab und hängt an diesen zu beiden Seiten des Magnetstabes zwei gleiche Gewichte — jedes von 500 Grammen — successive in 3 verschiedenen Entfernungen von einander an. Die umstehende Figur giebt die nöthige Anschauung.

Die Gewichte sind mit Henkeln versehen, welche ein Hütchen nach unten kehren, um da auf eine feine Spitze gestellt zu werden, die aus der Holzleiste hervorragt. Die beiden mittelsten Spitzen, welche 100, und die beiden äußersten, welche 700 Millimeter von einander abstehen, sind fest eingesetzt; die dazwischen stehenden können in verschiedene Vertiefungen eingesetzt werden, die von 50 zu

50 Millimeter mit mikroskopischer Genauigkeit angebracht sind. — An dieser Figur ist zugleich der den Faden haltende Stift in seiner Befestigungsweise am besten zu sehen.

Um die Schwingungen nach Belieben moderiren zu können, bedient man sich des sogenannten Beruhigungsstabes, d. h. eines Magnetstabes, der halb so lang und breit und 4 Mal leichter ist, als der Hauptstab. Derselbe wird von dem Beobachter hinter dem Theodolithen horizontal und rechtwinkelig gegen den magnetischen Meridian gehalten. Auf diese Weise kann man eine Ablenkung von einer Bogenminute hervorbringen, während derselbe in verticaler Stellung keine Wirkung äußert.

Was die Beobachtungsweise betrifft, so versteht sich zunächst von selbst, daß bei correspondirenden Beobachtungen eine Uebereinkunft wegen der Zeit getroffen sein muß. Man legt hierbei die Göttinger Zeit zu Grunde und beobachtet an den festgesetzten Terminen von 5 zu 5 Minuten.

Unter dem Stande der Magnetnadel, welcher für die einzelnen Zeitmomente bestimmt werden soll, ist hier diejenige Stellung der magnetischen Axe zu verstehen, welche sie haben würde, wenn sie in diesem Augenblicke im magnetischen Meridiane wäre. Wegen der Schwankungen des Magnetstabes kann diese Stellung nicht unmittelbar bestimmt werden.

Die sich zuerst darbietende Methode besteht darin, daß man die Nadel absichtlich im schwingenden Zustande beobachtet, zwei auf einander folgende äußerste Stellungen — ein Minimum und ein Maximum — an der Scala aufzeichnet und zwischen beiden das Mittel nimmt. Bei großen Schwingungsbogen ist dies Verfahren jedoch wegen der Abnahme des Bogens nicht genau, und man wird wenigstens das Mittel aus zwei solchen Mitteln nehmen müssen, die aus drei auf einander folgenden Elongationen sich ergeben. Man erhält dann den Stand zur Zeit der zweiten Elongation. Ein Uebelstand bleibt bei diesem Verfahren, daß man nämlich nicht für den Augenblick den Stand des Magnetstabes finden wird, für welchen man denselben verlangt.

Ein genaueres Verfahren besteht darin, daß man, wenn man den Stand des Magneten zur Zeit T wissen will, schon vorher in ein paar Zeitmomenten und in eben so vielen nachher den Stand des Magnets beobachtet, wobei allerdings die kleinen Zeitintervalle immer gleich sein müssen. Das Mittel aus allen diesen Resultaten wird das richtige Resultat für den Moment T sein, sofern während der ganzen Zeit der Beobachtungen die Aenderung der Deklinationen als gleichförmig betrachtet werden darf. Beobachtet man z. B. in den Zeiten $T - {}^5/_2\,t$, $T - {}^3/_2\,t$, $T - {}^1/_2\,t$, $T + {}^1/_2\,t$, $T + {}^3/_2\,t$, $T + {}^5/_2\,t$ und sind die aufgezeichneten Zahlen a, b, c, d, e, f, so wird

$${}^1/_5\,[{}^1/_2(a + b) + {}^1/_2(b + c) + {}^1/_2(c + d) + {}^1/_2(d + e) + {}^1/_2(e + f)]$$

das Endresultat für die Zeit T sein.

Um die Intensität des Erdmagnetismus zu bestimmen, beobachtet man die Schwingungsdauer eines Magnetstabes NS und berechnet daraus das Drehungsmoment, welches der Erdmagnetismus auf diesen Stab ausübt. Dies Drehungsmoment ist das Product

$$MT = \frac{C}{t^2},$$

wo T den Erdmagnetismus, M den Magnetismus des schwingenden Stabes, t die Schwingungsdauer und C das mit $\frac{\pi^2}{2g}$ multiplicirte Trägheitsmoment bezeichnet (g als Fallraum in der Zeiteinheit genommen).

Hängt man dann einen zweiten Stab ns auf, beobachtet zuerst seine Einstellung unter dem reinen Einflusse des Erdmagnetismus, und nachher, indem NS in beträchtlicher Entfernung senkrecht auf die Richtung ns aufgelegt ist; so kann man aus dem Unterschiede beider Stellungen oder der Ablenkung berechnen, welch ein Bruchtheil die Kraft des Stabes NS von der erdmagnetischen Kraft in der gewählten Entfernung ist. Ein eben so großer Bruchtheil von dem vorher gefundenen Drehungsmomente lehrt uns das Drehungsmoment kennen, welches in jener Entfernung der Stab NS einem ihm gleichen ertheilen würde. Dies Resultat mit dem Cubus der Entfernung multiplicirt, giebt das reducirte Drehungsmoment; die Quadratwurzel daraus die Kraft des Stabes NS im absoluten Maße; endlich die vorher aus dem Drehungsmoment für T gefundene Zahl durch diese Quadratwurzel dividirt, die Zahl für das absolute Maß des Erdmagnetismus; also



$$T = \frac{1}{t}\sqrt{\frac{2C}{R^3 \operatorname{tg} v}},$$

wo R die Entfernung der beiden Stäbe und v die Ablenkung bezeichnet.

Als Gewichtseinheit liegt hier ein Gramm zu Grunde und zwar der Druck, welchen das Quantum Materie, welches das Gewicht enthält, unter dem Einflusse der Schwerkraft an dem Beobachtungsorte ausübt. Wegen des Näheren müssen wir auf die Originalabhandlung verweisen: Intensitas vis magnet. etc. und auf einen mehr populär gehaltenen Aufsatz von Gauß über Erdmagnetismus und Magnetometer in Schumacher's astronomischem Jahrbuch für 1836. Wir brauchen hier um so weniger darauf einzugehen, da Gauß selbst in dem Bifilarmagnetometer eine sicherere Methode die Intensität zu bestimmen angegeben hat, als es durch die Ermittelung der Schwingungsdauer möglich war.

Das Bifilarmagnetometer beruht auf Folgendem:

Die Bedingungen des Gleichgewichts eines an zwei Fäden aufgehängten Körpers von beliebiger Gestalt, dessen Theile einstweilen blos der Schwerkraft unterworfen und in festem Zusammenhange vorausgesetzt werden, lassen sich kurz so zusammenfassen, daß die Verticale durch den Schwerpunkt des Körpers und die durch die Fäden dargestellten geraden Linien sich in einer Ebene befinden und zugleich entweder unter sich parallel sein, oder sich in einem Punkte schneiden müssen. Allemal sind also bei der Gleichgewichtsstellung die beiden Fäden und der Schwer-

punkt in einer Verticalebene. Setzen wir voraus, daß die beiden Fäden gleich lang, ihre oberen Anknüpfungspunkte in gleicher Höhe sind und von einander eben so weit abstehen, wie die beiden unteren, endlich, daß die letzteren mit dem Schwerpunkte ein gleichschenkliges Dreieck bilden, so werden im Gleichgewichtszustande die beiden Fäden vertical hängen, und eine dritte Verticallinie — mitten zwischen diesen Fäden gedacht — wird den Schwerpunkt des Körpers treffen. Bringt man den Körper aus dieser Lage mitteist einer Drehung um letztere Linie, so werden die beiden Fäden nicht mehr vertical und auch nicht mehr in einer Ebene sein, und zugleich wird der Körper etwas gehoben. Es entsteht demnach ein Bestreben, zu der vorigen Lage zurückzukehren mit einem Drehungsmomente, welches mit hinlänglicher Genauigkeit dem Sinus der Ablenkung von der Ruhestellung proportional gesetzt werden kann, also am größten ist, wenn die Ablenkung 90° beträgt. Dieses größte Drehungsvermögen wird immer stillschweigend verstanden, wenn man vom Drehungsmoment schlechthin spricht. Man kann dasselbe auch als das Maß einer Kraft ansehen, mit welcher der Körper vermöge der Aufhängungsart in seiner Gleichgewichtsstellung gehalten wird, und die der Kürze wegen die aus der Aufhängungsart entspringende Directionskraft genannt werden kann. Ihre Größe hängt ab: 1) von der Länge der Aufhängefäden, 2) deren Abstande, 3) dem Gewichte des Körpers, und zwar so, daß sie der Länge der Fäden verkehrt, dem Quadrate ihres Abstandes direct und dem Gewichte des Körpers gleichfalls direct proportional ist. Bei einer anderen Aufhängungsart ist der Ausdruck für die Directionskraft complicirter. Ueberläßt man den Körper nach einer kleineren oder größeren Ablenkung von der Gleichgewichtsstellung sich selbst, so wird er mit der größten Regelmäßigkeit Schwingungen machen, deren Mitte mit dieser Stellung zusammenfällt, und deren Dauer von der Größe der Directionskraft und dem Trägheitsmomente des Körpers abhängt.

Macht nun ein horizontaler Magnetstab einen Bestandtheil des aufgehängten Körpers aus, so tritt eine zweite Directionskraft mit ins Spiel, und die Erscheinungen hängen von der Zusammensetzung der beiden Directionskräfte ab. Die beiden Stellungen des Körpers, in welchen er vermöge jeder der beiden Kräfte für sich allein im Gleichgewichtszustande sein würde, können hierbei entweder zusammenfallen, oder entgegengesetzt sein, oder einen Winkel mit einander bilden. Man sieht leicht, daß der Unterschied dieser drei Fälle auf dem Verhältnisse der beiden Winkel beruht, welche einerseits die gerade Linie durch die beiden unteren Anknüpfungspunkte der Fäden mit dem Magnetstabe, und andererseits die gerade Linie durch die beiden oberen Befestigungspunkte mit dem magnetischen Meridian macht. Denkt man sich den Körper in derjenigen Gleichgewichtslage, die durch die Aufhängungsart allein bedingt wird, so wird im ersten Falle der Magnetstab im magnetischen Meridian sein müssen mit dem Nordpole auf der Nordseite, im zweiten Falle ebenfalls im Meridian, aber in entgegengesetzter Lage und im dritten Falle muß er mit dem magnetischen Meridiane einen Winkel machen. Die erste Lage heißt die natürliche, die zweite die verkehrte, die dritte die transversale.

Bei der natürlichen Lage wird der Apparat mit der Summe der beiden Directionskräfte in der der Aufhängungsart entsprechenden Gleichheitsstellung zurückgehalten.

Bei der verkehrten Lage ist das Gleichgewicht nur dann stabil, wenn die magnetische Directionskraft kleiner ist, als die Directionskraft vermöge der Auf-

hängungsart, und der Apparat wird nur mit einer Kraft zurückgehalten, welche die Differenz jener beiden Directionskräfte ist. Findet dies nicht statt, so stellt sich der Apparat in seine natürliche Lage, aber die Fäden kreuzen sich.

In der transversalen Lage wird durch den Conflict beider Kräfte eine Zwischenstellung vermittelt.

Bietet der Apparat Mittel dar, die Winkel zwischen den drei in Rede stehenden Stellungen zu messen, so läßt sich das Verhältniß der beiden componirenden Directionskräfte berechnen, und folglich kann man auch die magnetische Directionskraft in absolutem Maße angeben, wenn die Directionskraft vermöge der Aufhängungsart in absolutem Maße bekannt ist. Die Aufgabe ist dann gelöst. Am vortheilhaftesten ist es übrigens, das Einbiegen des Magnetstabes relativ gegen die anderen Theile des Apparats so einzurichten, daß jener in der vermittelten Gleichgewichtsstellung nahe einen rechten Winkel mit dem magnetischen Meridian macht, welchem Falle also die Bewegung der transversalen Lage vorzugsweise angemessen ist. Theils ist nämlich dann die Ablenkung der Fäden von ihrer Lage in einer Ebene am größten, und damit die Berechnung des Resultats am schärfsten, theils hat dann auch eine kleine Veränderung der magnetischen Deklination vermöge der stündlichen oder zufälligen Variationen auf die Stellung keinen merklichen Einfluß. Dagegen aber afficirt eine jede Veränderung in der Stärke des Erdmagnetismus die Stellung unmittelbar, und läßt sich mit derselben Leichtigkeit, Schnelligkeit und Schärfe sogleich erkennen und messen, wie das Spiel der Veränderungen der Deklination am gewöhnlichen Magnetometer.

Ein sich hierauf gründender Apparat wurde zuerst aufgestellt in der Göttinger Sternwarte an zwei, 17 Fuß langen Stahldrähten, oder genauer an einem einzigen, dessen Enden unten an den Apparat angeknüpft waren, während seine Mitte oben über zwei Cylinder ging, die ihn etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll aus einander hielten. Hierdurch erhielten die beiden Stränge von selbst gleiche Spannung. Der an den Drähten hängende Apparat selbst besteht aus vier Haupttheilen. Der erste, an welchem die Drähte fest sind, ist eine horizontale, in Viertelsgrade auf Silber eingetheilte Kreisscheibe von 4 Zoll Durchmesser. Der zweite Theil besteht aus einer auf dem Limbus des Kreises, concentrisch mit diesem drehbaren Alhidade mit zwei Verniers, die einzelne Minuten geben, einer damit fest verbundenen ziemlich starken gegen die Kreisebene senkrechten Stange und einem daran befindlichen sehr vollkommenen kreisrunden Spiegel von $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, in welchem man durch ein, 16 Fuß entferntes Fernrohr das Bild eines Stückes einer in einzelne Millimeter getheilten, unterhalb des Fernrohrs befestigten horizontalen Scala sieht. Auf diese Weise ist also jede Veränderung in der Lage des Kreises zu erkennen und zu messen; und zwar kleine Veränderungen unmittelbar mit äußerster Schärfe durch die im Fernrohre sich zeigenden Scalentheile, größere, indem man damit eine Alhidadenbewegung verbindet und die Verniers abliest. Der dritte Theil ist das unter dem Kreise befindliche Schiffchen, nämlich ein doppelter Rahmen, durch welchen der vierte Bestandtheil, ein 25 Pfund schwerer starker Magnetstab gesteckt wird. Dieses Schiffchen ist gleichfalls um das Centrum des Kreises drehbar und mit zwei auf dem Kreislimbus aufliegenden Verniers versehen, wodurch man die Größe der Drehung auf die Minute messen kann.

Von den drei oben bezeichneten Lagen bietet die erste keine besonders wichtige praktische Anwendung dar; die zweite läßt sich benutzen die täglichen und

stündlichen Variationen der magnetischen Deklination vergrößert darzustellen, was jedoch jetzt nicht mehr nöthig ist, da die gewöhnlichen Magnetometer alles leisten, was man nur wünschen kann. Der Gebrauch des Apparates bei der dritten oder transversalen Lage ist für die Intensität besonders wichtig.

Wenn man von der natürlichen Lage ausgehend durch eine Drehung des Schiffchens den Magnetstab aus dem magnetischen Meridiane bringt, so muß sich der ganze Apparat, um zum Gleichgewichte zu kommen, um einen gewissen, dem Verhältnisse der beiden Directionskräfte entsprechenden Winkel zurückdrehen; die Differenz dieser beiden Winkel wird die Abweichung des Magnetstabes von dem magnetischen Meridian in der Gleichgewichtsstellung sein, und man kann es leicht so einrichten, daß diese Abweichung nahe 90° beträgt, wodurch die oben bereits angeführten Vortheile erreicht werden. Eine Aenderung der Intensität giebt sich dann unmittelbar durch den veränderten Stand kund. In Beziehung auf die unregelmäßigen, in kurzen Zeitfristen wechselnden Veränderungen der Intensität leistet der Apparat ganz dasselbe, wie das Magnetometer in Beziehung auf ähnliche Aenderungen der Deklination; auch ist die Beobachtung an beiden Apparaten ganz gleich. Bei Beobachtungen nach längeren Zeitfristen muß natürlich die Stärke des Magnetismus im Stabe revidirt werden; auch die Temperaturveränderungen kommen in Betracht, einmal insofern sie diese Stärke und dann auch, insofern sie die Distanz und Länge der Aufhängungsdrähte und damit die der Aufhängungsart zukommende Directionskraft afficiren. Die Veränderungen der Intensität erhält man zunächst in Scalentheilen ausgedrückt, die man jedoch leicht auf Bruchtheile der Intensität selbst zurückführen kann. An dem Göttinger Apparate entsprach einem Scalentheile der 22000ste Theil der ganzen Intensität. Ein Hauptvorzug des Bifilarmagnetometer vor dem einfachen Magnetometer besteht darin, daß dieses für sich allein die Intensität nur in ihrem Mittelwerthe während eines gewissen Zeitraumes geben kann, während jenes die schnellwechselnden Aenderungen auf das befriedigendste nachweist.

Wir fügen Vorstehendem noch einige Bemerkungen über die Einrichtung und den Gebrauch des Bifilarmagnetometer bei.

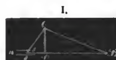
Große Magnetstäbe sind vorzuziehen; ein vierpfündiger Stab kann aber zur Noth schon genügen. Zum Aufhängen ist eine beträchtliche Höhe erforderlich, weshalb man die Decke des Locals durchbohrt und die Drähte so hoch fortführt, als es das Dach gestattet. Das Gebäude braucht nicht eisenfrei zu sein, wenn man nur aus der Nähe des Apparates und des Gebäudes alles Eisen entfernt. Ist das Observatorium für das Magnetometer groß genug, so kann auch das Bifilarmagnetometer in demselben aufgestellt werden, wodurch überdies Manches erspart wird. Hierbei ist beachtenswerth, daß die beiden Magnetometer in einem großen Saale sich auf solche Weise gegen einander stellen lassen, daß die mittlere Deklination ganz ungeändert bleibt, und die Variationen der Deklination und der Intensität nur in soweit afficirt werden, daß der Werth der Scalentheile etwas anders bestimmt werden muß, als außerdem. Dies ist der Fall, wenn der Pfeiler, auf welchem die Theodolithen stehen, mit den beiden Magnetometern ein Dreieck bildet, dessen eine Seite — nämlich die zwischen dem Pfeiler und dem Deklinations-Magnetometer — im magnetischen Meridiane liegt, während die andere Seite — nämlich die gerade Linie, welche die Mittelpunkte beider Magnetometer verbindet — einen Winkel von 35° 15′ 52″ mit dem magnetischen Meridian macht.

Gauß hat in einer sehr einfachen geometrischen Construction die vollständige Lösung der Frage von der Wechselwirkung zweier Magnete aus großer Entfernung bei ganz beliebiger gegenseitiger Lage gegeben *).

---

*) Wenn A die Mitte eines kleinen Magnetes ns, AB die Verlängerung von ns, C ein Theilchen freien Magnetismus des anderen Stabes, ACB ein rechter Winkel, $AD = \frac{1}{3} AB$ ist, so ist CD die Richtung der Kraft, welche auf C wirkt, wenn C ein nordmagnetisches Theilchen ist. Ist C ein südmagnetisches Theilchen, so würde die Verlängerung von CD über C hinaus die Richtung der Kraft sein. Es ist nun $\frac{CD}{AD} \cdot \frac{Mm}{AC^3}$ die Größe der Kraft, wenn M den Magnetismus von ns, m den Magnetismus in C bezeichnet. — Den Beweis dieses Satzes siehe im Art. Magnetismus Bd. IV. S. 772..

I.



Es folgt hieraus, daß in der oben bezeichneten Lage die mittlere Deklination unverändert bleibt, und daß der Werth der Scalentheile für die Variationen der Deklination sowohl, als auch der Intensität nur insofern geändert wird, als die Directionskraft beider Apparate eine Abänderung erleidet; denn der Werth der Scalentheile ändert sich mit der Directionskraft und zwar in gleichem Verhältnisse.

Die erstere Behauptung ergiebt sich aus der Betrachtung der Fig. I., wo A der Mittelpunkt des Intensitätsstabes ns, C der Mittelpunkt des in der Linie CD liegenden Deklinationsstabes, CD die bei Aufstellung des Apparates zu Grunde gelegte magnetische Meridianlinie ist, und die gerade Linie AC, welche die Mittelpunkte beider Stäbe verbindet, den Winkel $ACD = 35^\circ\ 15'\ 52''$ mit dem magnetischen Meridian macht, oder genauer einen solchen Winkel ACD, daß

$$\sin ACD = \sqrt{\tfrac{1}{3}};\ \cot. ACD = \sqrt{2};\ \mathrm{cosc.}\ ACD = \sqrt{3}.$$

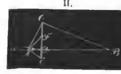
Nach dem aufgestellten Satze ist dann nämlich CD die Richtung der Kraft, welche auf den Deklinationsstab C wirkt, wenn, für $ACB = 90^\circ$, $AD = \frac{1}{3} AB$ ist. Dies Letztere ist aber wirklich der Fall, weil CD senkrecht auf AB ist, da die magnetische Axe CD des Deklinationsstabes im magnetischen Meridiane, die magnetische Axe AB des Intensitätsstabes senkrecht darauf liegen muß. Für den Halbmesser AC ist AD der Sinus von ACD, AB die Secante von BAC oder die Cosecante von ACD; folglich

$$AD : AB = \sin ACD : \mathrm{cosc.}\ ACD = \sqrt{\tfrac{1}{3}} : \sqrt{3} = 1 : 3.$$

Die Kraft, mit welcher der Intensitätsstab auf den Deklinationsstab wirkt, hat also die Richtung des magnetischen Meridians CD; kann folglich wohl auf die Schwingungsdauer des Deklinationsstabes, dessen Directionskraft dadurch etwas geändert wird, einigen Einfluß haben, keinen Einfluß aber auf dessen Richtung, so lange diese mit dem angenommenen mittleren Meridiane CD zusammenfällt; die Abweichungen davon werden aber durch jene Kraft etwas verkleinert oder vergrößert, je nachdem sie mit dem Erdmagnetismus zusammen oder ihm entgegen wirkt. Aber auch dieser Einfluß wird berücksichtigt, wenn man den Bogenwerth der Scalentheile, worin die Abweichungen vom mittleren Meridiane ausgedrückt werden, der Directionskraft proportional verändert, d. h. um $\frac{\sqrt{2}}{AC^3} \cdot \frac{Mm}{Tm}$, wo nach obigem Satze

$$\frac{Mm}{AC^3} \cdot \sqrt{2} = \frac{Mm}{AC^3} \cot. ACD = \frac{CD}{AD} \cdot \frac{Mm}{AC^3}\ \text{ist.}$$

II.



Die letztere Behauptung, insofern sie die Variationen der Intensität betrifft, ergiebt sich, wenn auf CA in A (Fig. II.) ein Perpendikel errichtet wird, welches die verlängerte Linie CD in E schneidet. Alsdann ergiebt sich aus der Aehnlichkeit der Dreiecke ACD, ABC, EAD, ECA, daß $ED = \frac{1}{3} EC$ ist, weil $AD = \frac{1}{3} AB$ war. Folglich ist, wenn CD in F halbirt wird, $CF = \frac{1}{3} CE$. Weil nun von C, CE, A, CAE, CF

Um bei der Höhe der Aufhängung nicht nöthig zu haben an der Decke Abänderungen vorzunehmen, mußten am Schiffchen mehrere Einrichtungen getroffen werden. Es mußten nämlich an diesem die Schrauben zur Verlängerung und Verkürzung der Drähte angebracht werden. An den drei umstehend aufgenommenen Figuren erkennt man sehr deutlich, wie sie mit dem Kreise, auf welchem das Schiffchen liegt, fest verbunden und wie sie eingerichtet sind, um eben so wie die Hebeschraube des einfachen Magnetometers die Verlängerung oder Verkürzung der Drähte ohne seitliche Verrückung zu bewirken.

Um die Directionskraft nach Belieben zu verkleinern oder zu vergrößern, müssen sich unten am Schiffchen die beiden Drähte einander näher oder ferner stellen lassen. Oben können die beiden herabhängenden Enden über eine einzige Rolle von einem angemessenen Durchmesser geleitet werden, und man kann die Axe dieser Rolle auf Frictionsrädern laufen lassen, um die Reibung zu vermindern, wodurch man bewirkt, daß die beiden Drähte immer ganz gleiche Spannung haben, was für die absoluten Bestimmungen von großer Wichtigkeit ist.

Wir wenden uns nun zu der näheren Beschreibung des Schiffchens als des wesentlichsten Theiles. Die Hauptsache ist hierbei die Kenntniß der verschiedenen concentrischen Drehungen, die am Schiffchen vorgenommen werden können, die Kenntniß der Hemmung und Messung dieser Drehungen und die Kenntniß des Zweckes, den sie haben. Diese Drehungen sind folgende:

---

und AF alles gilt, was oben von A, AB, C, ACB, AD und CD ausgesagt ist, so ergiebt sich AF als Richtung und $\frac{AF}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3}$ als Größe der Kraft, mit welcher der Deklinationsstab auf den Intensitätsstab wirkt. Zerlegt man diese auf den Intensitätsstab wirkende Kraft in eine Kraft nach seiner magnetischen Axe, (durch Multiplication der ganzen Kraft mit $\frac{AD}{AF}$) und in eine Kraft senkrecht darauf (durch Multiplication der ganzen Kraft mit $\frac{DF}{AF}$); so erhält man für jene den Werth:

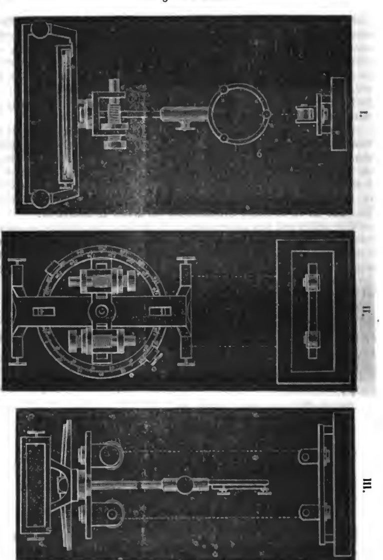
$$\frac{AD}{AF} \cdot \frac{AF}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3} = \frac{AD}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3} = \frac{Mm}{AC^3}\sqrt{2},$$

für diese

$$\frac{DF}{AF} \cdot \frac{AF}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3} = \frac{DF}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3} = \frac{Mm}{AC^3},$$

weil $2\,CF = CD = AD\sqrt{2}$, oder $\frac{AD}{CF} = \sqrt{2}$ und $CF = DF$ ist.

Jene Kraft $\frac{Mm}{AC^3}\sqrt{2}$ verändert direct die Directionskraft des Intensitätsstabes in seiner transversalen Lage. Diese Kraft $\frac{Mm}{AC^3}$ würde die Stellung desselben abändern, wenn nicht durch eine angemessene Abänderung der Suspension die Wirkung aufgehoben und der Stab unverrückt in seiner transversalen Lage erhalten würde. Im letzteren Falle kommt dann zwar die Kraft $\frac{Mm}{AC^3}$ nicht mehr in Betracht; aber wohl hat die veränderte Suspension Einfluß auf die Directionskraft und folglich auf den Werth der Scalentheile, der aber keiner besonderen Rechnung bedarf, weil seine Berechnung mit der Berechnung der Directionskraft überhaupt aus der gegebenen Suspension zusammenfällt.



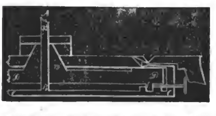
1) Die Drehung des Spiegels für sich auf seinem Zapfen, während das ganze übrige Instrument seine Lage behält;
2) die Drehung des Spiegels sammt seinem Zapfen und der Alhidade des letzteren in der Büchse des Kreises, an welchem die Suspensionsschrauben der Drähte fest sind, und auf welchem das Schiffchen mit seiner Alhidade oben aufliegt;

3) die Drehung des Schiffchens mit seiner Alhidade auf dem Kreise, auf dem es aufliegt. — Zur vollständigen Uebersicht aller Drehungen kann endlich hier auch noch

4) die Drehung der beiden oberen Drahtenden um sich selbst, d. i. um die nämliche Axe, um welche die anderen Drehungen geschehen, angeführt werden.

Die erste Drehung wird aus den Figuren I. und III. hinreichend klar. Die Einrichtung ist darum so einfach, weil diese Drehung nicht gemessen zu werden braucht. Sie soll blos dazu dienen, vollkommene Freiheit in der Aufstellung des Theodolithen zu gewähren, indem man durch diese Drehung die Spiegelaxe immer nach dem Fernrohr und der Scala drehen kann, wo diese auch aufgestellt sein mögen, ohne sonst irgend etwas an dem Apparate zu ändern. Das Bild der Scale, welche in dem gedrehten Spiegel erscheint, dient selbst zur Regulirung der Drehung und es bedarf dazu keiner weiteren Messungsvorrichtung. Nur zum Feststellen des Spiegels in jeder Lage oder zur Hemmung seiner Drehung ist eine Schraube nöthig, wie die Abbildungen Fig. I. und III. sie zeigen.

Um die zweite Drehung deutlich zu machen, nämlich wie die drei Stücke — Spiegel, Zapfen und Alhidade — wie ein Stück festverbunden sich zusammen in der Büchse des Kreises drehen, sind sie sammt der letzteren in beistehender Figur im Querschnitt dargestellt. Der Spiegel liegt über dem oberen Ende des Zapfens B bei A, C Alhidade des Zapfens, D Kreis. Diese Drehung unterscheidet sich von der ersten wesentlich blos dadurch, daß der Drehungswinkel gemessen werden kann. Indem die unter dem Kreise liegende drehbare Alhidade des Zapfens an ihren beiden Enden den Kreisrand umfaßt, bildet sie zwei auf der oberen Seite des Kreises, wo die Theilung ist, aufliegende Nonien, deren innerer Rand an den äußeren Rand der Kreistheilung grenzt. Uebrigens ist zur Hemmung dieser Drehung auch noch eine Klemme angebracht, durch welche die Alhidade des Zapfens fest an den Kreis gedrückt werden kann. E in obiger Figur giebt diese Klemme im Durchschnitt.



Diese beiden Drehungen sind nöthig um die Nonien an der Alhidade des Zapfens frei zu machen, ohne den Spiegel von der Scala abzuwenden, wenn dieselben, wie es in gewissen Fällen geschieht, unter die Alhidade des Schiffchens zu liegen kommen und davon verdeckt werden.

Dritte Drehung. Auf den Kreis, an welchem die Suspensionsschrauben der Drähte fest sind, wirkt unmittelbar die Directionskraft der Drähte; auf das Schiffchen, in welchem der Magnetstab liegt, wirkt unmittelbar die magnetische Directionskraft. Wenn daher diese beiden Directionskräfte einen Winkel mit einander bilden, so werden sie die beiden Theile, auf welche sie unmittelbar wirken, gegenseitig zu drehen suchen. Damit dies nicht geschehe und keine Verstellung derselben von selbst eintreten könne, müssen die beiden Theile, auf welche jene Kräfte unmittelbar wirken, nur mit so starker Friction an einander verschiebbar sein, daß jene Directionskräfte, auch wenn sie einen großen Winkel mit einander machen,

jene Friction nicht überwinden können. Diese Drehung, von welcher der Winkel abhängt, welchen die beiden Directionskräfte mit einander bilden, muß sehr genau gemessen werden können. Die Einfachheit der Construction beruht nun vorzüglich darauf, daß derselbe Kreis und dieselbe Kreistheilung, welche zur Messung der zweiten Drehung diente, zugleich auch zur Messung der dritten Drehung benutzt wird. Zu diesem Zwecke ist auch die Alhidade des Schiffchens mit zwei Nonien versehen. Das Instrument besteht hiernach aus einem Kreise mit zwei Alhidaden, die unabhängig von einander gebraucht werden sollen. Die eine Alhidade liegt unter, die andere über dem Kreise, um Conflicte zu vermeiden; die untere umschlingt den Rand des Kreises und bildet auf der oberen Seite Nonien, welche an den äußeren Rand der Kreistheilung stoßen, so daß diese für beide Alhidaden brauchbar ist. Die Nonien der oberen Alhidade stoßen von innen her an die Kreistheilung. Die Zahlen stehen abwechselnd innerhalb und außerhalb der Kreistheilung, weil die Bezifferung von den Nonien der einen oder der anderen Alhidade verdeckt wird.

Zu der vierten Drehung bedarf es gar keiner künstlichen Vorrichtung, sondern man dreht und stellt den Träger an der Decke, über welchen die Drähte geführt sind, aus freier Hand. Gleich bei der Aufstellung des Instrumentes dreht und stellt man den Träger so, daß er die bequemste Lage für alle Zwecke zugleich hat. Als bequemste Lage läßt sich diejenige betrachten, bei welcher die unteren Drahtenden mit dem zwischen ihnen stehenden Spiegel, der immer auf die Scala gerichtet bleiben muß, am wenigsten in Conflict kommen.

Zur Aufstellung des Apparates und zur Regulirung desselben sind nun folgende Versuche anzustellen.

1) Die Uhr, der Theodolith und die Scala werden fest aufgestellt und ein Senkel von der Mitte des Objectivs über die Scala herabgelassen. Der Theodolith wird nivellirt.

2) Das Fernrohr wird auf die gegenüberstehende Wand eingestellt und auf dieser eine Mire zur Bezeichnung des Endpunkts der optischen Axe angebracht. Die Scala wird senkrecht auf die Verticalebene der optischen Axe gestellt.

3) In der Verticalebene der optischen Axe wird eine Stelle gesucht, wo der Spiegel zu schweben kommen soll, deren Abstand vom Mittelpunkte des Objectivs und von demjenigen Scalentheile, über welchem das Senkel hängt, zusammen so groß ist, wie der Abstand der Mire vom Mittelpunkte des Objectivs. Die Horizontalebene dieses Punktes soll das Senkel von der Mitte des Objectivs zur Scala halbiren. Endlich wird von der Decke ein Senkel herabgelassen, welches durch diesen Punkt geht.

4) Es wird der Träger entweder an der Decke selbst oder senkrecht über ein glatt ausgefüttertes, durch die Decke gebohrtes 80 bis 100 Millimeter weites Loch befestigt, so daß die mit kleinen Gewichten gespannten Enden eines darüber geleiteten Fadens frei durch die Deckenöffnung hindurchgehen und beide in der Verticalebene der optischen Axe des Fernrohrs liegen.

5) Man wählt einen Stahldraht aus, der so stark ist, daß er ohne Gefahr zu reißen das halbe Gewicht des Instrumentes tragen kann. Man befestigt sein eines Ende an einem Ende des Fadens und zieht es zum Träger hinauf, indem man das andere Ende des Fadens herabzieht, — wobei dafür zu sorgen ist, daß Draht und Faden immer geradlinig gespannt bleiben, — läßt es über die beiden

Cylinder des Trägers hinweggehen und führt es wieder herunter, worauf man den Faden anknüpfen und die beiden Drahtenden mit Gewichten belasten und sich frei drehen lassen kann, bis sie ihre natürliche Lage angenommen haben.

6) Die beiden Drahtenden werden etwa 100 oder 150 Millimeter unter der Stelle, wo das Magnetometer schweben soll, abgeschnitten und an die Suspensionsschrauben befestigt. Das so getragene frei schwebende Schiffchen wird darauf mit Hülfe der Schrauben bis zur vorgeschriebenen Stelle in die Höhe gewunden.

7) Es wird ein Kasten so groß, daß der Magnetstab, der in das Schiffchen gelegt werden soll, darin Platz findet, aufgestellt wie bei dem einfachen Magnetometer. Durch eine Oeffnung der Decke gehen die beiden Drähte und der Zapfen, dessen oberes Ende den Spiegel trägt.

8) Ehe der Magnetstab in das Schiffchen gelegt wird, legt man ein gleich großes unmagnetisches Gewicht hinein und läßt die Drähte ihre natürliche Lage einnehmen, wobei sie beide ihrer ganzen Länge nach in einer verticalen Ebene liegen. Die Alhidade des Schiffchens wird darauf so genau wie möglich in denjenigen mittleren magnetischen Meridian gebracht, welchen man den Variationsmessungen zu Grunde legen will. Die andere Alhidade, am Spiegelzapfen, kann so gestellt werden, daß sie mit jener einen rechten Winkel bildet, damit die beiderseitigen Verniers recht weit von einander abstehen. Das Gewicht am Schiffchen schiebt man so lange, bis der Spiegel gerade mitten zwischen beiden Drähten steht, wo dann die Spiegelaxe sehr nahe horizontal sein muß. Nun bediene man sich der ersten Drehung, um ohne Verrückung der Alhidade den Spiegel nach der Scala zu wenden. Sollte dann die Scala nicht gleich im Fernrohre erscheinen, so wird man sie mit bloßem Auge nahe darüber oder darunter sehen und kann sie mit Hülfe eines leichten Laufgewichts, das man auf das Schiffchen legt und dort verschiebt, in das Gesichtsfeld führen. Hierauf wird die erste Beobachtung gemacht und der Stand der Scala bestimmt.

9) Auch kann zur Bestimmung der Directionskraft der Drähte die Schwingungsdauer beobachtet werden, ehe der Magnetstab eingelegt wird, und nochmals nach einer bekannten Vermehrung des Trägheitsmoments. Jedoch wird dieser Versuch besser etwas später, wenn der Abstand der Drähte von einander genau regulirt worden ist, gemacht, falls man diesen Abstand nicht schon im Voraus genau genug durch Rechnung bestimmen und reguliren konnte.

10) Darauf wird der Magnetstab verkehrt — Nord nach Süd gewandt — eingelegt, und darauf der Stand der Scala wieder beobachtet, welcher mit der Beobachtung unter (8) übereinstimmen soll. Stimmen die beiden Beobachtungen nicht überein, so muß die Uebereinstimmung durch bloße Drehung des Schiffchens mit seiner Alhidade erreicht werden. Die Uebereinstimmung der beiden Beobachtungen beweist, daß die magnetische Axe des Stabes im magnetischen Meridian liegt. Dabei ist jedoch zu bemerken, daß, je weniger die Directionskraft vermöge der Aufhängung die magnetische Directionskraft übertrifft, desto feiner dieses Prüfungsmittel sei, wodurch es unmöglich werden könne, eine vollkommene Uebereinstimmung beider Beobachtungen zu erreichen. Der Unterschied weniger Scalentheile kann dann als verschwindend betrachtet werden. Der Einfluß der stündlichen Variationen muß hierbei natürlich auch berücksichtigt werden.

11) Es wird die Schwingungsdauer t in dieser verkehrten Lage beobachtet.

12) Der Magnetstab wird in die Lage Nord gegen Nord gebracht, indem das Schiffchen mit seiner Alhidade genau um 180 Grad gedreht wird. Darauf wird wieder die Schwingungsdauer τ beobachtet. Es verhält sich alsdann die magnetische Directionskraft M zur Directionskraft vermöge der Aufhängung S

$$M : S = t^2 - \tau^2 : t^2 + \tau^2.$$

Wenn dieses Verhältniß von der Einheit sehr abweicht, so müssen die Drähte einander genähert oder entfernt werden, bis die dadurch veränderte Directionskraft der Drähte die magnetische Directionskraft nur wenig übertrifft, z. B. um den 10. Theil der letzteren.

13) Sucht man darauf den Winkel z, dessen Sinus

$$\sin z = \frac{t^2 - \tau^2}{t^2 + \tau^2}$$

ist, und dreht die Alhidade des Schiffchens — z. B. im Sinne der täglichen Drehung der Sonne — um $90^0 - z$, dreht dagegen die Alhidade des Spiegelzapfens im entgegengesetzten Sinne um den Winkel z; so wird das Gleichgewicht gestört sein. Die Drähte können nicht mehr in ihrer natürlichen Lage bleiben, sondern müssen den Kreis, an dem sie befestigt sind, und damit das ganze Instrument, im Sinne der täglichen Drehung der Sonne genau um den Winkel z drehen. In dieser neuen Lage kann das Gleichgewicht sich wieder herstellen, weil der Stab in dieser Lage gegen die frühere einen Winkel $(90^0 - z) + z = 90^0$ macht, während die Drähte an ihren unteren Enden blos um den Winkel z gedreht worden sind. Daraus geht hervor, daß, wenn vorher die Drähte ihre natürliche Lage hatten und die magnetische Axe des Stabes im magnetischen Meridiane lag, die aus den beiden Kräften M und S resultirenden entgegengesetzten Drehungsmomente sich verhalten, wie

$$M \sin 90^0 : S \sin z.$$

Da nun aber

$$M : S = t^2 - \tau^2 : t^2 + \tau^2$$
$$\sin z = \frac{t^2 - \tau^2}{t^2 + \tau^2}$$
$$\sin 90^0 = 1;$$

so folgt daraus die Gleichheit dieser entgegengesetzten Drehungsmomente oder das Gleichgewicht des Instrumentes in dieser Lage. Ob die wirkliche Lage des Gleichgewichts mit der so berechneten übereinstimme oder nicht, ergiebt sogleich die Beobachtung des Scalenstandes, der noch derselbe sein muß, wie zuvor.

14) Ergiebt sich dennoch aus der Beobachtung eine Aenderung des Scalenstandes, so folgt daraus, daß die bei dem früheren Versuche gemachte Voraussetzung nicht genau erfüllt gewesen ist, daß die magnetische Axe des Stabes in dem magnetischen Meridian lag. Den damals begangenen Fehler kann man berechnen und mit Berücksichtigung desselben die Versuche wiederholen. Diese Rechnung wird noch genauer und sicherer, wenn man zuvor einen correspondirenden Versuch macht, indem man ganz, wie unter (13) angegeben ist, verfährt, aber alle Drehungen nach der entgegengesetzten Seite macht.

15) Nachdem man die gewünschte Uebereinstimmung erhalten hat, bleibt das Magnetometer in seiner letzten transversalen Lage. Seine Schwingungsdauer ist alsdann nach einem einfachen Theoreme das geometrische Mittel zwischen den

Schwingungsdauern t und τ, wonach sich die Beobachtungen der Intensitäts-Variationen, ähnlich wie die Beobachtungen der Deklinations-Variationen anordnen lassen. Man erhält die Intensitäts-Variationen in Scalentheilen. Wünscht man sie in Bruchtheile der ganzen Intensität zu verwandeln, so ergeben sich diese, wenn man den Bogenwerth der Scalentheile in Theilen des Halbmessers ausgedrückt mit

$$\cot . z = \frac{2 t \tau}{t^2 - \tau^2}$$

multiplicirt; denn der Bogenwerth der Scalentheile in Theilen des Halbmessers ausgedrückt giebt unmittelbar die Intensitäts-Variationen in Theilen der Directionskraft, welche unter den beschriebenen Verhältnissen S cos z ist. Dividirt man diese Directionskraft S . cos z mit der ganzen Intensität, d. i. unter den beschriebenen Verhältnissen mit S . sin . z, so erhält man durch Multiplication jenes Bogenwerthes mit diesem Quotienten cot . z die Intensitäts-Variationen in Bruchtheilen der ganzen Intensität.

Die hier nach Gauß gegebenen Vorschriften sind wohl bei allen magnetischen Observatorien maßgebend gewesen; indessen sind doch auch noch mancherlei andere Einrichtungen nöthig geworden, um nachweisbar richtige Bestimmungen zu erhalten. Wir verweisen deshalb namentlich auf Lamont *), da die Münchner Beobachtungen sich als besonders sicher erwiesen haben. Ueberdies sind noch mancherlei Vorsichtsmaßregeln zu beachten; auch verdient bemerkt zu werden, daß — was von Gauß nicht beachtet worden ist — durch den Erdmagnetismus in den Stäben Magnetismus inducirt wird, wodurch je nach den Dimensionen und der Härte der Stäbe beträchtlich verschiedene Ergebnisse herbeigeführt werden.

Wegen Webers Inductions-Inklinatorium verweisen wir auf Art. Neigung der Magnetnadel. H. E.

Magnium, Talcium oder Magnesium, ist das Metall der Magnesia, einer alkalischen Erde. Chemisches Zeichen: Mg. Aequivalent: 150 **) (O=100) oder 12,0 (H = 1). Spec. Gewicht = 1,743. Das Metall kommt in der Natur nicht vor, wohl aber vielfache Verbindungen desselben. Es wurde zuerst von H. Davy dargestellt; die genauere Kenntniß desselben verdanken wir jedoch den späteren Untersuchungen von Bussy ***) und Liebig ****). Während sich Davy bei der Darstellung des galvanischen Stromes bediente, schlug Bussy den Weg ein, den Wöhler für die Bereitung des Aluminium gegeben hatte. Man erhitzt nämlich wasserfreies Chlormagnesium und Kalium; das sich hierbei bildende Chlorkalium löst sich in Wasser auf und das Metall bleibt in Form kleiner Kügelchen zurück. Es besitzt einen metallischen Glanz, der sich dem des Silbers nähert; es läßt sich hämmern und schmilzt unter einer Decke von Chlorkalium bei einer Temperatur, die mit der des schmelzenden Silbers zusammen zu fallen scheint. In trockener Luft oxydirt es sich nicht, in feuchter Luft jedoch langsam. Erhitzt man es aber im Sauerstoffstrom, so verbrennt es mit lebhafter Flamme zu Oxyd;

*) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 95 ff.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. II. S. 385.

***) Journ. de chim. méd. 1830. Mars p. 141.

****) Ann. d. Phys. Bd. XIX. S. 137.

eine ähnliche Erscheinung findet in einem Strome von Chlorgas und in Schwefeldämpfen statt. Von verdünnten Säuren wird das Magnesium unter Wasserstoffentwickelung aufgelöst; mit concentrirter Schwefelsäure zusammengebracht entwickelt sich schweflige Säure. Kaltes Wasser wird dadurch nicht zersetzt; bei 30° ist die Zersetzung nur langsam, bei 100° aber sehr lebhaft.

Von den Verbindungen mit Sauerstoff kennt man nur eine: die Magnesia (Magnesiumoxyd, Talkerde oder Bittererde), MgO, die sich nur in Verbindungen mit Säuren und zwar in reichlicher Menge oder als Hydrat in der Natur vorfindet. Black stellte zuerst die Verschiedenheit der Magnesia von der Kalkerde fest (1755). Obgleich schon vor ihm Fr. Hoffmann darauf aufmerksam gemacht hatte, ließ dieser sich dennoch oft durch die Aehnlichkeit der Bittererde mit der Talkerde täuschen. Marggraf und besonders Bergmann verdanken wir weitere Kenntnisse darüber. Man erhält sie durch Glühen aus der gewöhnlichen kohlensauren Magnesia der Apotheken. Daß alle Kohlensäure entwichen ist, erkennt man durch Uebergießen mit Säuren; es darf dann kein Aufbrausen stattfinden. Die auf diese Art bereitete Magnesia ist unter dem Namen gebrannte Magnesia (Magnesia usta) offizinell. Es ist ein weißes, lockeres, geruch- und geschmackloses Pulver; die Löslichkeit desselben in Wasser ist noch geringer als die der Kalkerde, sie reicht aber aus, um schwach geröthetes Lakmuspapier zu bläuen. Die Talkerde ist eine starke Base, die sich in Säuren sehr leicht löst. Sie schmilzt nur vor dem Knallgasgebläse oder in dem Kreise einer sehr kräftigen galvanischen Batterie; geschmolzen erhitzt sie Glas. Wird sie mit Wasser übergossen, so bildet sich das Hydrat; eine merkliche Erhitzung tritt hierbei nicht ein; in feuchter Luft zieht sie Kohlensäure und Wasser an, ohne die Gegenwart des letzteren bleibt sie jedoch in reiner Kohlensäure unverändert. Spec. Gew. = 3,2. Die große Leichtigkeit der Magnesia ist bei mancherlei Verrichtungen sehr hinderlich; deshalb bereitet man sie oft durch Glühen der salpetersauren Magnesia, weil dieses Verfahren ein dichteres, mithin auch schwereres Präparat liefert. — Magnesiahydrat kommt als Brucit (MgO, HO) in der Natur vor. Künstlich bereitet man es durch Fällung mittelst Kali aus einer Lösung der schwefelsauren Magnesia. Das Wasser geht schon unter der Glühhitze fort. Das Magnesiahydrat kann mit schwefelsaurem Eisenoxyd oder Eisenchlorid bei Vergiftungen mit arseniger Säure als kräftig wirkendes Gegenmittel verwendet werden.

Unter den Salzen der Magnesia führen wir auf: die kohlensaure Magnesia MgO, CO². Sie kommt in der Natur als Magnesit oder Magnesitspath theils amorph, theils krystallisirt in Rhomboëdern besonders in Tyrol vor. Beide Arten zeigen ein verschiedenes Verhalten gegen Säuren. Die amorphen Massen werden von starken Säuren ziemlich leicht aufgelöst, während der krystallinische Magnesit nur im fein gepulverten Zustande und bei Anwendung der Wärme angegriffen wird. An manchen Fundorten kommt der Magnesit fast chemisch rein vor; so z. B. enthält der von Frankenstein in Schlesien nur 0,009 Proc. Beimengungen (Kieselsäure, Thonerde, Eisenoxyd und Phosphorsäure). Der reine Magnesit wird namentlich bei der Fabrikation der künstlichen Mineralwässer zur Entwickelung der Kohlensäure gebraucht, weil diese frei von einem übeln Geruch und Geschmack ist; als Nebenproduct fallen hierbei verschiedene Magnesiasalze ab. — Mit dem kohlensauren Kalk bildet die kohlensaure Magnesia ein Doppelsalz, das unter dem Namen Braunspath, Bitterspath, Dolomit (CaO, CO² + MgO, CO²)

als ein mächtiges Gestein auftritt. Auch mit Eisen- und Manganoxydul kommt die kohlensaure Magnesia in der Natur vor. — Durch gewöhnliche Fällung eines löslichen Magnesiasalzes mittelst der Lösung eines kohlensauren Salzes kann man die neutrale kohlensaure Magnesia nicht darstellen. Es gelingt dies nur auf Umwegen. Im ersteren Falle erhält man stets eine Verbindung der kohlensauren Magnesia mit Magnesiahydrat und Wasser. Die Zusammensetzung dieses Niederschlages fällt sehr verschieden aus; sie hängt ab von der Menge des kohlensauren Alkalis, so wie von der Concentration und der Temperatur der Lösungen. Man kann bestimmte Verbindungen oder Gemenge verschiedener erhalten. Ein Niederschlag dieser Art ist schon seit alter Zeit unter dem Namen Magnesia alba, hydrica carbonica, scarbonica als pharmaceutisches Präparat bekannt. Um sie sehr leicht zu erhalten, wendet man sehr verdünnte Lösungen der schwefelsauren Magnesia und eines kohlensauren Alkalis an, die beide kochend mit einander gemischt werden. Man läßt die Flüssigkeit eine Zeitlang über dem Niederschlage sieden, entfernt jene durch Abgießen und wäscht den Niederschlag wiederholt mit heißem Wasser aus. Um den Niederschlag zu scheiden, bringt man ihn auf Leinwandfilter; nach dem Abtropfen entzieht man das Wasser möglichst durch Ausbreiten auf einer porösen Unterlage und formt ihn endlich zu Steinen, die man in gelinder Wärme austrocknet. Dieses Präparat bildet eine zusammenhängende, sehr zerreibliche, schneeweiße, leichte Masse. Gewöhnlich besitzt sie die Zusammensetzung $MgO, HO + 3 (Mg, CO^2 + HO)$. Doch hängt dies, wie gesagt, von der Art der Bereitung ab. Mit den kohlensauren Alkalien geht die kohlensaure Magnesia Doppelsalze ein; sie löst sich auch in kohlensäurehaltigem Wasser. Die Lösung der zweifach kohlensauren Magnesia, welche in der Natur meistens die zweifach kohlensaure Kalkerde begleitet, wird ähnlich wie diese an der Luft und in der Wärme zersetzt.

Die schwefelsaure Magnesia (Bittersalz, englisches Salz, Epsom- oder Sedlitzer-Salz) wurde zuerst in der Mineralquelle zu Epsom in England entdeckt. Sie findet sich außerdem in verschiedenen anderen Quellen, die unter dem Namen Bitterwässer eine große Berühmtheit erlangt haben, besonders die böhmischen Quellen von Püllna und Seidschütz; ferner im Meerwasser und Salzquellen. Auch als Salz kommt diese Verbindung in der Natur vor; es sind dies die unter dem Namen Haarsalz (Gletschersalz) bekannten Auswitterungen. Sie entstehen durch die Einwirkung gypshaltiger Wasser auf Magnesia-Carbonate oder Silikate oder durch die Einwirkung von Pyrit auf Magnesiaglimmer. Durch die capillare Thätigkeit der Gesteinschichten wird die Auflösung der schwefelsauren Magnesia an die Oberfläche der Erde geführt; hier verdampft durch die Sonnenwärme das Wasser und das Salz bedeckt in großer Menge weite Strecken, die mit einer Schneedecke überlagert zu sein scheinen. — Im Großen stellt man das Bittersalz dar aus dem Dolomit, dem Magnesit durch Einwirkung von Schwefelsäure; oder aus den Mutterlaugen, die bei der Darstellung des Kochsalzes aus dem Meerwasser oder der Soole abfallen. Diese enthalten Chlormagnesium, welches durch Schwefelsäure zersetzt wird. Am einfachsten dampft man die in der Natur vorkommenden Bitterwässer ab. — Bei gewöhnlicher Temperatur kristallisirt das Salz in farblosen vierseitigen Säulen mit 7 Atomen Wasser; schießen die Krystalle dagegen bei einer erhöhten Temperatur an, so enthalten sie nur 6 Atome Wasser und bei mehreren Graden unter 0° erhält man große Krystalle mit 12 At.

Wasser. Der Geschmack ist bitter und salzig. Das wasserfreie Salz schmilzt in der Rothglühhitze, wobei es theilweise zersetzt wird. Es ist leicht löslich in Wasser; bei 0° werden von 100 Th. Wasser beinahe 26 Th. Bittersalz aufgenommen und bei 97° 72 Th. — Mit den schwefelsauren Alkalien bildet die schwefelsaure Magnesia leicht lösliche Doppelsalze. — Salpetersaure Magnesia kommt in der Salpetermutterlauge vor. Das Salz zerfließt sehr leicht und wird in der Rothglühhitze vollständig zersetzt. — Unterchlorigsaure Magnesia wird zuweilen als Bleichmittel benutzt. — Phosphorsaure Magnesia (PO^5, 2 MgO, HO) kommt in den Samen der Gräser, den festen und flüssigen thierischen Substanzen und in dem Mineralreich als Sordawalit vor. Zersetzt man essigsaure Magnesia durch Phosphorsäure oder neutrales phosphorsaures Natron durch schwefelsaure Magnesia, so krystallisirt die phosphorsaure Magnesia in Nadeln, die 14 At. Wasser enthalten. Durch Kochen mit Wasser wird die Verbindung in Phosphorsäure und in ein basisches Salz zerlegt. Im Harn, Harnsteinen und anderen thierischen Concrementen kommt eine Verbindung der phosphorsauren Magnesia mit Ammoniak (PO^5, 2 MgO, NH^4 O) vor. Sie wird auch erhalten, wenn Phosphorsäure und Ammoniak mit einem löslichen Magnesiasalze zusammenkommen. Dieses Verhalten dient, um die Magnesia bei Untersuchungen zu erkennen und quantitativ zu bestimmen. In reinem Wasser ist die Verbindung etwas auflöslich, in ammoniakhaltigem Wasser jedoch ganz unlöslich. In Hamburg fand man kürzlich bei einer Ausgrabung große Krystalle von phosphorsaurer Ammoniak-Talkerde, die man anfänglich für ein Mineral, dem man den Namen Struvit beilegte, ansah. Bald aber erkannte man, daß die Kloaken die Ursache zur Entstehung dieser Krystalle abgegeben hatten. — Borsaure Magnesia findet sich in der Natur als Boracit (3 MgO + 4 BO^3) im Gyps bei Lüneburg und Segeberg und in Steinsalz bei Staffart. Bringt man siedende Lösungen von Borax und schwefelsaurer Magnesia zusammen, so scheiden sich nach einiger Zeit harte Krystallnadeln von borsaurer Magnesia (MgO, BO^3 + 8 HO) ab. — Kieselsaure Magnesia findet sich im Mineralreich in ziemlicher Menge. Hauptsächlich sind zu erwähnen: der Speckstein (MgO, SiO^3), der Talk (6 MgO, 5 SiO^3), der Meerschaum (MgO, SiO^3 + 6 HO), der Serpentin (MgO, SiO^3 + HO) und der Asbest (CaO, SiO^3 + (3 MgO, 2 SiO^3)). Außerdem kommen die Talkerdesilicate auch noch mit anderen Silicaten verbunden im Mineralreich vor.

Unter den Verbindungen, welche das Magnesium mit anderen Elementen eingeht, heben wir nur die mit Chlor (Magnesiumchlorür Mg Cl) hervor. Sie findet sich im Meerwasser, in vielen Mineral- und Soolquellen. Die wasserfreie Verbindung bereitet man am besten, wenn man kohlensaure oder reine Magnesia in Salzsäure auflöst und soviel Salmiak hinzusetzt, daß Ammoniak keinen Niederschlag bewirkt. Hat man zur Trockne eingedampft, so erhitzt man die Masse in einem Platintiegel, um den Salmiak zu verjagen. Es ist eine weiße, krystallinische Masse, die in der Rothglühhitze schmilzt und an der Luft sehr zerfließt. Aus einer Lösung der Magnesia in Salzsäure schießt Magnesiumchlorür in Krystallen an, die 6 At. Wasser enthalten. Dampft man die Lösung zur Trockne ein, so findet eine Zersetzung statt, indem Salzsäure entweicht.

Die Gegenwart der Magnesia läßt sich vor dem Löthrohr auch leicht dadurch nachweisen, daß sie, mit salpetersaurer Kobaltlösung befeuchtet und stark geglüht,

eine rosenrothe Färbung annimmt. Die quantitative Bestimmung der Magnesia hat nur dann Schwierigkeiten, wenn sie zugleich mit den Alkalien vorkommt. Man fällt die Magnesia durch Phosphorsäure und Ammoniak, muß aber nur die überschüssig zugesetzte Phosphorsäure aus dem Filtrat, welches die Alkalien enthält, entfernen. Dies geschieht in der Siedehitze durch ein lösliches Bleisalz, dessen Ueberschuß wiederum durch kohlensaures Ammoniak unlöslich gemacht wird. Bei Gegenwart von Schwefelsäure wird diese durch essigsauren Baryt entfernt; durch Eindampfen und Glühen erhält man kohlensaure Salze, von denen die Alkalien im Wasser löslich sind, während Baryt und Magnesia zurückbleiben; beide lassen sich leicht trennen. Hat man die Alkalien und die Magnesia als Chlorverbindungen, so zersetzt man das Chlormagnesium durch Quecksilberoxyd; beim Glühen entweicht das Chlorquecksilber und das überschüssig zugesetzte Quecksilberoxyd. Die Chloralkalien werden dann leicht von der reinen Magnesia getrennt, da sie im Wasser löslich sind. Oder man kocht die Chloride mit kohlensaurem Silberoxyd; die Alkalien gehen in Lösung und die Magnesia bleibt bei dem Rückstande, aus dem sie leicht durch Salzsäure ausgezogen wird. List hat *) eine indirecte Methode angegeben, die Magnesia von den Alkalien zu trennen. Man bestimmt das Gesammtgewicht der schwefelsauren Salze, die Schwefelsäure und die Magnesia und berechnet daraus die in dem Gemenge enthaltene Quantität Kali und Natron. W. B.

Mangan, Manganium, Manganèse, ein Metall. Chemisches Zeichen: Mn. Aequivalent: 344,684 (O = 100) oder 27,619 (H = 1). Es kommt in der Natur sehr häufig vor, wenn auch nicht in sehr großen Massen und nie im metallischen Zustande, sondern stets in Verbindungen, zumeist mit Sauerstoff verbunden; dann auch mit Wasser, Kohlensäure und Kieselsäure, sehr selten als Schwefelmangan. Es ist ein beständiger Begleiter des Eisens; man findet es, freilich nur in sehr geringer Menge, auch in der organischen Natur, so wie in der Asche der Pflanzen, im Blute (Millon) und in den Knochen (Fourcroy und Vauquelin). In verschiedenen Mineralien tritt das Mangan als färbender Bestandtheil auf.

Das am häufigsten vorkommende Manganerz, der Braunstein, war bereits den Alten bekannt und wie Plinius berichtet, kannte man auch seine Eigenschaft, das Glas zu entfärben. Seine äußere Aehnlichkeit mit dem natürlichen Magneten gab Veranlassung zu der Benennung Magnesia nigra. Bis vor 100 Jahren rechnete man den Braunstein zu den Eisenerzen; erst Pott zeigte 1740, daß in dem Braunstein kein Eisen enthalten sei. Er stellte zwar verschiedene Mangansalze dar, ihre chemische Natur erkannte er jedoch nicht. Für den Hauptbestandtheil des Braunsteins hielt er eine alkalische Erde, die der Thonerde sehr ähnlich sei. Kaim machte zwar 1770 bekannt, daß er aus dem Braunstein ein bläulich weißes kräftiges Metall dargestellt habe, seine Angaben aber fanden wenig Glauben. Selbst Scheele blieb (1774) noch zweifelhaft über die Natur des Braunsteins; der Hauptbestandtheil desselben schien ihm große Aehnlichkeit mit der Kalkerde zu haben, ja er hielt es nicht für unmöglich, daß der erstere in die letztere verwandelt werden könne. In demselben Jahre noch erkannte Berg-

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXI. S. 117.

mann, gestützt auf Scheele's Versuche, daß der Braunstein ein eigenthümliches Metall enthalten müsse, und Gahn gelang es endlich, gleichfalls 1774, dasselbe darzustellen.

Man erhält das Metall durch Reduction eines seiner Oxyde mittelst Kohle bei hoher Temperatur. Am besten stellt man zuerst reines Manganoxydul aus dem kohlensauren Salz dar. Das Oxydul mengt man innig mit Holzkohle und erhitzt es stark in einem Gebläseofen unter einer Kohlendecke in einem mit Kohle ausgefütterten Tiegel. Ein Zusatz von Oel beschleunigt die Reduction und Borax erleichtert das Zusammenschmelzen der reducirten Metallkörner. Das Mangan, auf diese Weise bereitet, enthält eine gewisse Menge Kohle, verhält sich also zu dem reinen Metall ähnlich, wie das Gußeisen zum weichen Eisen. Durch abermaliges Schmelzen mit einer kleinen Menge kohlensaurem Manganoxydul wird es von dem Kohlegehalt befreit.

Das Mangan sieht weißem Gußeisen sehr ähnlich, doch ist es weniger hart. Seine Dehnbarkeit ist sehr gering; es läßt sich zwar feilen, aber man kann es zu einem Pulver zerstoßen. Außer der großen Sprödigkeit verhindert auch die große Verwandtschaft zum Sauerstoff die Anwendung des Mangans als Metall. In feuchter Luft läuft es sehr schnell mit gelblicher oder violetter Farbe an und zerfällt sogar ganz zu einem schwarzen Pulver. Man muß es unter Steinöl aufbewahren oder am besten in zugeschmolzenen Glasröhren. Das Wasser wird durch das Mangan schon bei gewöhnlicher Temperatur zersetzt, sehr schnell aber bei 100°. Spec. Gew. = 8,0. Es schmilzt schwerer als Eisen.

Das Mangan ist unter allen Metallen dasjenige, welches sich in den meisten Verhältnissen mit dem Sauerstoff verbindet. Wir kennen sechs solcher Verbindungen:

das	Manganoxydul	MnO
"	Manganoxydoxydul	Mn^3O^4
"	Manganoxyd	Mn^2O^3
"	Mangansuperoxyd	MnO^2
die	Mangansäure	MnO^3 und
"	Uebermangansäure	Mn^2O^7.

Manganoxydul (MnO) kommt in der Natur nicht im reinen Zustande, sondern mit Kieselsäure als Mangankiesel ($3\ MnO, 2\ SiO^3$) und mit Kohlensäure verbunden als Manganspath ($MnO\ CO^2$) vor. Man erhält reines Manganoxydul, wenn man das Hydrat oder die Verbindungen mit Kleesäure und Kohlensäure bei Abschluß der Luft schwach glüht. Man nimmt diese Operation am besten in einer Glaskugel vor, aus der man die Luft durch einen Strom von Wasserstoffgas ausgetrieben hat. Oder man leitet über erhitztes Mangansuperoxyd oder über eine andere höhere Oxydationsstufe so lange Wasserstoffgas als sich noch Wasser bildet. Die beste Darstellungsmethode ist von Liebig und Wöhler angegeben. Man schmilzt Manganchlorür mit trocknem kohlensaurem Natron und Salmiak zusammen. Es bildet sich hier Chlornatrium und kohlensaures Manganoxydul, bei weiterem Glühen geht die Kohlensäure fort, und der Salmiak reducirt das Oxyd, das sich durch die Einwirkung der Luft bildet, zu Oxydul. Letzteres bleibt zurück, wenn man die geschmolzene Masse mit Wasser auslaugt.

Das Manganoxydul ist ein graugrünes Pulver. Es oxydirt sich sehr leicht an der Luft, weshalb man es sorgsam vor dem Zutritt derselben schützen muß. Das Manganoxydul ist eine starke Base, die sich mit den meisten Säuren zu theils farblosen, theils blaßrosenrothen Salzen verbindet. Einige schreiben die röthliche Färbung der Manganoxydulsalze einer geringen Beimengung von Uebermangansäure oder Kobalt zu. Nach Gorgeu aber *) gehört diese Färbung den löslichen oder krystallisirbaren Salzen an, während die unlöslichen oder amorphen weiß sind; besitzen die ersteren diese Farbe, so rührt diese von Verunreinigungen her. Diese sind zum Theil in Wasser löslich; die hierin unlöslichen werden von Chlorwasserstoffsäure aufgelöst. Von den Salzen führen wir an: 1) Das kohlensaure Manganoxydul ($MnO\ CO^2$). Es kommt in der Natur in rosenrothen Rhomboëdern, die denen des Kalkspathes sehr ähnlich sind, vor; oft auch in Gemeinschaft mit kohlensaurem Eisenoxydul und kohlensaurem Kalk. Fresenius **) hat es im Sinter des Kochbrunnens zu Wiesbaden aufgefunden. Es ist in der Quelle als doppelt kohlensaures Manganoxydul aufgelöst enthalten, durch Entweichen der Kohlensäure wird es unlöslich. Liegt der Sinter lange Zeit an der Luft, so geht das kohlensaure Manganoxydul in Manganoxydhydrat über. — Künstlich dargestellt bildet das kohlensaure Manganoxydul ein schmutzig weißes, in Wasser unlösliches Pulver. Man erhält es, wenn man eine Auflösung von kohlensaurem Natron in eine Lösung des schwefelsauren Salzes oder von Manganchlorür gießt. Es dient zur Darstellung der übrigen Manganoxydulsalze, indem man es in den entsprechenden Säuren auflöst. 2) Schwefelsaures Manganoxydul ($MnO,\ SO^3$). Man stellt das Salz direct dar durch Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf Braunstein, wobei sich Sauerstoff entwickelt. Man kann hierzu auch den Rückstand verwenden, der bei der Bereitung des Sauerstoffs durch Erhitzen des Braunsteins übrig bleibt, oder das bei der Chlorbereitung abfallende Manganchlorür. Je nach der Temperatur, bei der die Krystalle anschießen, besitzen sie einen verschiedenen Wassergehalt und eine verschiedene Form. Bei 6° schließen sie 7 Aequiv. Wasser ein und besitzen die Form des schwefelsauren Eisenoxyduls mit gleichem Wassergehalt; zwischen 7 bis 20° schießen sie mit 5 Aequiv. Wasser in der Form des schwefelsauren Kupferoxydes von gleichem Wassergehalt an und zwischen 20 bis 30° erhält man Krystalle mit 4 Aequiv. Wasser in der Form des schwefelsauren Eisenoxyduls, dessen Krystalle gleichfalls 4 Aeq. Wasser enthalten. 3) Kieselsaures Manganoxydul kommt im Mineralreich vielfach vor, doch sind diese Verbindungen noch nicht hinreichend studirt. Wir heben hervor: den rothen Mangankiesel (Manganaugit, zweidrittelkieselsaures Manganoxyd, $3\ MnO,\ 2\ SiO^3$), den schwarzen Mangankiesel (drittelkieselsaures Manganoxydul, $3\ MnO,\ SiO^3$); andere Mangansilicate sind: Troostit, Hormangan, Allagit, Photicit, Rhodonit, Hydropit, Marcelin.

Manganoxydulhydrat erhält man durch Zusatz von kaustischem Kali oder Natron zu einer Auflösung eines Mangansalzes. Es ist ein weißer, voluminöser, flockiger Niederschlag, der sich an der Luft sehr leicht bräunt, indem er begierig Sauerstoff aufnimmt. — Manganoxyd-Oxydul, rothes Manganoxyd ($Mn^3\ O^4$ oder $MnO.\ Mn^2\ O^3$) kommt in der Natur als Hausmannit

*) L'Inst. 18. Mai 1853.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXVII. S. 207.

oder Schwarzmanganerz vor. Hauer hat *) Krystalle von Hausmannit künstlich dargestellt. Als er größere Mengen eines Gemisches von Chlormangan mit Salmiak bei Zutritt der Luft glühte, bis kein Chlor mehr fortging, bildeten sich hohle Drusenräume, in welchen sich, so wie an den Wandungen des Tiegels, Krystalle von Hausmannit vorfanden. Gewöhnlich erhält man das Manganoxydul-Oxyd durch Glühen des reinen Oxyduls oder der kohlensauren oder salpetersauren Verbindung bei Zutritt der Luft. Während diese Verbindungen beim Glühen Sauerstoff aufnehmen, geben die höheren Oxydationsstufen solchen ab und liefern gleichfalls Oxyd-Oxydul. — Manganoxyd, Mn^2O^3 kommt in der Natur krystallisirt und derb vor, als Braunit und Hartmangan (Psilometan). Zum Theil enthalten diese Mineralien auch Superoxyd eingemengt. Mit dem Braunstein können diese Mineralien jedoch nicht verwechselt werden, da sie ein braunes Pulver liefern, während ersteres auch in der Pulverform seine graue Farbe beibehält. Künstlich ist das Manganoxyd nur sehr schwierig rein darzustellen. Man glüht das salpetersaure Manganoxydul, das Manganoxydhydrat oder das Superoxyd vorsichtig. Bei stärkerem Glühen bleibt Oxyd-Oxydul. Das Manganoxyd ist ein schwarzes Pulver, und eine sehr schwache Base. Die Lösungen in Schwefelsäure oder Salzsäure zersetzen sich beim Erwärmen. Erstere bildet mit schwefelsaurem Kali ein Doppelsalz, den sogenannten Manganalaun ($KO, SO^3 + Mn^2O^3, 3 SO^3$). Die Thonerde im gewöhnlichen Alaun ist hier durch Manganoxyd vertreten. Durch das Manganoxyd werden Glasflüsse violett gefärbt; bei verschiedenen Mineralien, z. B. dem Amethyst, rührt die violette Farbe gleichfalls von einer geringen Menge Manganoxyd her. — Das Manganoxydhydrat (Mn^2O^3, HO) kommt in der Natur in großen stahlgrauen Krystallen als Manganit oder Glanzmangan vor, häufig eingesprengt im Braunstein. Künstlich erhält man es, wenn man das feuchte Manganoxydulhydrat der Einwirkung der Luft aussetzt oder wenn man kohlensaures Manganoxydul in Wasser vertheilt und Chlor in gewisser Menge hindurch leitet. Das Oxydul entfernt man durch kalte verdünnte Salpeter- oder Essigsäure. Das Manganoxydhydrat ist ein dunkelbraunes Pulver; das Wasser geht sehr leicht fort.

Die wichtigste Verbindung ist das Superoxyd MnO^2. Es kommt als Pyrolusit (Graubraunsteinerz, Braunstein, Polianit) in großer Menge in der Natur vor. Das Mineral bildet entweder gerade rhombische Säulen oder stenglige, faserige und strahlige, auch nierenförmige oder tropfsteinartige Massen. Diese besitzen einen metallischen Glanz und eine dunkel eisenschwarze Farbe, auf Papier färben sie ziemlich leicht ab. Der Strich ist rein schwarz und dadurch unterscheidet sich dieses Mineral von den anderen aufgeführten Manganerzen mit minderem Sauerstoffgehalt, von denen einige dem Braunstein im Aeußern ähnlich sehen. Da der Braunstein mit diesen Erzen oft zusammen vorkommt, so wird er mit diesen zusammen gefördert, obgleich sie nicht den Werth besitzen, wie der eigentliche Braunstein. Deshalb ist es für den Techniker von großer Wichtigkeit, den Braunstein oft auf seine Reinheit zu untersuchen. Wie dies anzustellen ist, werden wir später anführen.

Spec. Gew. = 4,82 bis 4,94. Vor dem Löthrohr zeigt sich der Braunstein unschmelzbar; in der Reductionsflamme wird er durch Sauerstoffverlust

*) Ber. d. Wien. Akad. Bd. XIII. S. 455.

rothbraun. Mit Boraxglas schmilzt er leicht unter starkem Aufbrausen. Der Braunstein findet sich auf Gängen und Lagern im Porphyr, Thonschiefer, Glimmerschiefer, Eisensteinlager. Die Fundorte sind ziemlich zahlreich; bei Ilmenau, Saalfeld und anderen Orten Thüringens, bei Ilefeld und Goslar am Harz, im Erzgebirge, bei Schmalkalden, im Siegenschen, Saarbrückenschen, Bayreutschen, Reußschen und Mähren, Böhmen, Ungarn, Cornwallis, Skandinavien und Frankreich.

Künstlich stellt man diese Verbindung dar durch Kochen von Manganoxyd oder Oxyd-Oxydul mit concentrirter Salpetersäure oder durch vorsichtiges Glühen von salpetersaurem Manganoxydul. Leichter ist das Mangansuperoxyd darzustellen, wenn man Oxyd-Oxydul mit chlorsaurem Kali schmilzt; das hierbei entstehende Chlorkalium wird durch Wasser ausgezogen. Erhitzt man zu stark, so tritt eine sehr heftige Zersetzung ein und man erhält nur Manganoxyd. Beim starken Erhitzen entweicht aus dem Braunstein ein Drittheil seines Sauerstoffgehaltes, indem Oxyd-Oxydul zurückbleibt; beim Erhitzen mit Schwefelsäure entweicht die Hälfte des Sauerstoffs, indem schwefelsaures Manganoxydul zurückbleibt. Diese Eigenschaft des Braunsteins ist sehr wichtig, weil der entweichende Sauerstoff als kräftiges Oxydationsmittel wirkt. Außer zur Darstellung des Sauerstoffs dient der Braunstein zur Darstellung der schwefligen Säure, namentlich aber zur Darstellung des Chlors, zum Entfärben des Glases und in der Töpferei, um eine schwarze Glasur oder eine violette Farbe hervorzubringen. Le Roux empfiehlt *) eine Mischung von Braunstein mit verdünnter Salzsäure für die Bunsen'sche Zinkkohlenbatterie.

Mengt man den Braunstein mit leicht oxydirbaren organischen Stoffen (Zucker, Kleesäure etc.), so erhält man das schwefelsaure Manganoxydul viel leichter als durch Einwirkung der Schwefelsäure auf reinen Braunstein. Bei der Darstellung der schwefligen Säure erhitzt man ein Gemenge von Schwefel und Braunstein ($MnO^2 + 2\,S = MnS + SO^2$). Erhitzt man Braunstein mit Salzsäure so bildet sich Manganchlorür, während ein anderer Theil der Salzsäure zersetzt wird, indem sich der Wasserstoff derselben mit dem aus dem Braunstein frei werdenden Sauerstoff zu Wasser verbindet, während das Chlor entweicht. Ueber die Wirkung des Braunsteins als Entfärbungsmittel des Glases hatte man bis vor ganz kurzer Zeit keine rechte Vorstellung. Einen Theils geschieht dieser Zusatz beim Glassatze, um die Kobletheilchen zu oxydiren und dadurch ihre färbende Wirkung aufzuheben; wichtiger aber ist es, das in dem Glassatze enthaltene Eisen unschädlich zu machen. Man nahm gewöhnlich an **), daß durch den Braunstein das Eisenoxydul in Oxyd verwandelt werde. Letzteres ertheilt dem Glase eine bei weitem geringere gelbliche Farbe, die in dünneren Lagen weniger oder kaum sichtbar ist. Nachdem nun aber Maumené ***) vor wenigen Jahren an den Lösungen der Kobalt- und Nickelsalze gezeigt hat, daß auch auf chemischen Wege eine Aufhebung complementärer Farben zumeist stattfindet, hielt es Liebig für höchst wahrscheinlich ****), daß auch beim Schmelzen des Glases der nämliche Fall

*) Compt. rend. T. XXXVII. p. 588.
**) Gmelin, Handbuch der Chemie Bd. II. S. 363.
***) Compt. rend. T. XXX. p. 209.
****) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XC. S. 112.

eintrete, da die Farben, welche das entstehende Manganoxydul und das Eisenoxydul dem Glase ertheilen, complementär sind. Als er die Lösungen dieser beiden Salze in einem gewissen Verhältniß zusammenmischte, trat wirklich eine Entfärbung ein; dafür aber, daß beim Zusammenschmelzen des Glases dasselbe eintrete, forderte Liebig erst noch einen directen Beweis. Dieser Beweis aber ist bereits vor 20 Jahren geliefert worden *). Der Hofmechanikus Dr. Körner zu Jena erhielt ein absolut wasserhelles Glas, als er ein durch Manganoxydul schwach röthlich gefärbtes Flintglas mit einem andern, das durch Eisenoxydul smaragdgrün gefärbt war, zusammenschmolz. Hiernach spricht Sukow auf das Bestimmteste aus, daß das Farbloswerden des Glases durch das ergänzende Verhältniß der Farben verschieden färbender, zu einem Glase verschmolzener Pigmente bewirkt worden sei. Er zeigte ferner, daß ein Gleiches bei vielen Mineralien der Fall, und daher diese Erscheinung eine sehr allgemeine sei. — Weißes Glas, zu dessen Entfärbung man geringe Mengen Braunstein angewendet hat, wird bisweilen im Lichte gelb. Die schwache Purpurfärbung, die manches Fensterglas zeigt, rührt ebenfalls von geringen Mengen Mangan her.

Schon oben haben wir angeführt, daß es für den Techniker sehr wichtig ist, stets den Braunstein, bevor er ihn verwendet, genau zu untersuchen. Die Wirkung beruht ja ganz auf dem Sauerstoffgehalt; nicht allein, daß dem Braunstein oft andere Manganerze beigemengt sind, sondern der Braunstein selbst ist stets durch Gangart verunreinigt. Verschiedene Chemiker haben einfache Untersuchungsmethoden angegeben, die wenig Zeit in Anspruch nehmen. Zudem kann man diese Untersuchung noch dadurch vereinfachen, daß man den Inhalt mehrerer Fässer genau unter einander mischt. Am wichtigsten ist diese Untersuchung bei der Bereitung des Chlorgases; unterläßt man sie, so kann man nie auf zuverlässige Resultate rechnen, ja oft ist dann das Chlor durch Salzsäure verunreinigt und diesem Umstande ist es wohl mit zuzuschreiben, daß sich so oft beim Bleichen mit Chlor Unfälle ereignen.

Von den verschiedenen Prüfungsmethoden besprechen wir vorzüglich nur eine, die für alle Fälle ausreicht und wegen ihrer Einfachheit und Sicherheit bedeutende Vorzüge besitzt. Sie ist von Will und Fresenius angegeben und gründet sich darauf, daß 1 Aequiv. Braunstein mit Schwefelsäure übergossen und dann erhitzt durch den freiwerdenden Sauerstoff 1 Aequiv. Kleesäure in 2 Aequiv. Kohlensäure verwandelt. Der Apparat, der zu diesen Versuchen dient, besteht aus zwei kleinen Kolben zu 2 Unzen Inhalt, die man nach Art der nebenstehenden Figur zurichtet. In den Kolben A bringt man eine abgewogene Menge Braunstein, $2\frac{1}{2}$ Th. neutrales oxalsaures Kali oder 2 Th. neutrales oxalsaures Natron und so viel Wasser, daß der Kolben ungefähr $\frac{2}{3}$ gefüllt ist. Den Kolben B füllt man zur Hälfte mit concentrirter Schwefelsäure. Hat man den Apparat zusammengesetzt, so wägt man denselben und verschließt die Röhre c mit etwas Wachs. Saugt man nun bei d etwas Luft aus, so tritt Schwefelsäure nach A über; dies wird so lange wiederholt, bis keine Kohlensäureentwickelung mehr stattfindet. Die Kohlensäure geht durch die Schwefelsäure hindurch, so daß



*) Zeitsch. f. d. gesammt. Naturw. Bd. V. S. 217.

sie vollkommen trocken aus d entweicht. Entwickelt sich selbst bei Ueberschuß an Schwefelsäure keine Kohlensäure mehr und ist das schwarze Pulver am Boden von A verschwunden, so ist der Versuch — in der Regel nach 10 Minuten — beendet. Zuletzt erwärmt man den Kolben A ein wenig, um alle Kohlensäure auszutreiben, entfernt den Wachspfropf bei c und saugt nun bei d langsam die Luft aus, bis der Geschmack der Kohlensäure nicht mehr merklich ist. Nach dem Erkalten wiegt man den Kolben wieder und aus dem Gewichtsverlust berechnet man den Gehalt an Mangansuperoxyd im untersuchten Braunstein. Um jede weitläuftige Rechnung zu vermeiden, nimmt man eine bestimmte Menge Braunstein (2,97 Grm.), dann giebt die Zahl der Centigramme, welche der Kolben nach dem Versuch weniger wiegt, durch 3 dividirt sogleich den Procentgehalt des Braunsteins an Superoxyd an.

Mitunter enthält der Braunstein kohlensaure alkalische Erden und dann muß das Untersuchungsverfahren ein wenig abgeändert werden. Man gießt dann auf den Braunstein im Kolben A nicht Wasser, sondern sehr verdünnte Schwefelsäure und treibt durch diese erst die Kohlensäure bei gelinder Wärme aus. Dann füllt man etwa 3 Grm. käufliche Oxalsäure in ein kleines Glasröhrchen, das man an einem Faden in A aufhängt. Das weitere Verfahren ist dasselbe.

Ungeachtet diese Methode sehr leicht auszuführen ist und dabei doch sichere Resultate giebt, ist sie dennoch im geschäftlichen Verkehr sehr in Mißcredit gekommen. Bei der Prüfung ein und desselben Braunsteins erhielten verschiedene Personen oft ziemlich abweichende Resultate, die jedoch, wie Fresenius gezeigt hat *), keineswegs durch die Methode verursacht wurden. Die Ursache dieser erheblichen Differenzen lag in der unbestimmten Art, wie man den zu untersuchenden Braunstein trocknete. Will man einen sicheren Anhaltspunkt haben, so muß stets angegeben werden, bei welcher Temperatur der Braunstein getrocknet worden ist. Am besten ist es den Braunstein bei + 120° C. zu trocknen; erst bei dieser Temperatur giebt er alle Feuchtigkeit ab, ohne chemisch gebundenes Wasser zu verlieren. Fresenius hat hierzu einen eigenen Apparat construirt, der beim Mechanikus Stumpf in Wiesbaden käuflich zu haben ist. In der Technik läßt sich jedoch ein Trocknen bei + 100° C. leichter ausführen, weil dies die Temperatur des kochenden Wassers ist. Der Techniker braucht daher kein Thermometer in Anwendung zu bringen; er kann das Trocknen des Braunsteins auf einem Dampfkessel vornehmen, der genau die vorgeschriebene Temperatur inne hält. Will man diese als Normaltemperatur gelten lassen, so muß man doch beachten, daß der sehr feingepulverte Braunstein in dünner Schicht sechs Stunden lang dieser Wärme ausgesetzt werden muß, wenn er als vollkommen trocken angesehen werden soll. Nach Fresenius würde der Braunsteinhandel dadurch bedeutend an Sicherheit gewinnen, wenn man alle Abschlüsse auf bei + 100° C. getrockneten Braunstein bezöge und die Procente an Superoxyd durch den Zähler eines Bruches ausdrückte, dessen wechselnder Nenner die jeweilige bei + 100° ausgetriebene Feuchtigkeit, für die im Handel, wenn sie ein gewisses Maß überschreitet, häufig eine Vergütigung geleistet wird, bezeichnete. So wäre z. B. Braunstein von 60/100 solcher, der in 100 Th. bei + 100° C. getrocknetem Braunstein 60 Proc. Superoxyd enthielte und Braunstein von 60/107 solcher, der in 100 Th. bei + 100° C. getrocknetem Braunstein 60 Proc.

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXV. S. 277.

Superoxyd, aber in dem Zustande, wie er in den Handel kommt, so viel Wasser enthält, daß auf 100 Pfund bei + 100° getrockneten Braunstein 7 Pfund Feuchtigkeit kommen. Während also bei dieser Bezeichnung der Zähler den Gehalt des Braunsteins an Superoxyd angiebt, zeigt der Nenner die Zahl der Pfunde an, die statt 100 Pfund bei + 100° C. getrockneten Braunsteins geliefert werden müssen. Nichts ist einfacher, als die Art, wie man aus dem Feuchtigkeitsgehalt den Nenner berechnet. Verlieren z. B. 100 Grm. Braunstein 6 Grm. Wasser, wenn sie bei + 100° C. getrocknet werden, so enthalten mithin 100 Th. Braunstein des Handels 94 Th. bei + 100° C. getrockneten. Der Nenner ergiebt sich nun aus dem Ansatz 94 : 100 = 100 : z; z also = 106,4.

Mangansuperoxydhydrat enthält je nach der Bereitungsart verschiedene Mengen Wasser. Nach Mitscherlich besitzt es die Zusammensetzung MnO^2, HO, wenn man mangansaure oder übermangansaure Salze durch Wasser oder verdünnte Säuren zersetzt. Nach Berthier erhält man dieselbe Verbindung, wenn man durch Wasser, in welchem kohlensaures Manganoxydul suspendirt ist, Chlor leitet und dann den Rückstand gut mit verdünnter Säure auswäscht. Nach Winkelblech besitzt der Niederschlag, der entsteht, wenn man ein Gemenge von kaustischem und unterchlorigsaurem Kali zu einer Auflösung eines Manganoxydulsalzes setzt, die Formel 2 MnO^2, HO. Weiter existiren noch die Verbindungen 3 MnO^2, HO und 4 MnO^2 HO.

Mangansäure MnO^3. Die Säure selbst hat man bis jetzt nicht darstellen können; sie existirt nur in ihren Verbindungen mit Basen. Die mangansauren Salze sind wenig beständig und daher auch wenig bekannt. Am häufigsten dargestellt wird das mangansaure Kali. Man schmilzt Braunstein mit kaustischem Kali zusammen; hält man hierbei den Luftzutritt ab, so zerfällt das Superoxyd in Oxyd und Mangansäure (3 MnO^2 = $Mn^2 O^3$ + MnO^3). Um den Braunstein vollständig in Mangansäure zu verwandeln, nimmt man entweder das Glühen in einem Sauerstoffstrome vor oder man setzt der geschmolzenen Masse Salpeter oder chlorsaures Kali in kleinen Mengen zu. Die Farbe der geschmolzenen Masse ist so dunkelgrün, daß sie fast schwarz aussieht. Wegen dieser intensiven Färbung ertheilt das mangansaure Kali, wenn nur höchst wenig davon mit großen Mengen anderer Salze zusammengeschmolzen wird, diesen eine intensive grüne Farbe. Dadurch ist überhaupt die Gegenwart des Mangans sehr leicht zu erkennen. — Enthält die geschmolzene Masse freies Kali, so liefert eine concentrirte Lösung unter der Luftpumpe über Schwefelsäure schöne grüne Krystalle. Von dem Kali kann man diese Krystalle sehr leicht dadurch befreien, daß man sie auf einem porösen Ziegelstein ausbreitet. Das Kali zerfließt und zieht in den Stein ein. Nach Zwenger *) ist die Farbe dieser Krystalle nicht grün, sondern eine Mittelfarbe zwischen tombakbraun und kupferroth mit einem Stich ins Stahlbraune, ziemlich ähnlich der Farbe, die das unzersetzte Buntkupfererz zeigt. Selbst bei mehrmaliger Darstellung erhielt Zwenger nie grüne Krystalle. Sie besaßen stets einen Metallglanz, den sie sehr rasch an der Luft verlieren; damit ändert sich die Farbe, die so tief grün wird, daß sie beinahe schwarz erscheint. Die Krystalle gehören dem rhombischen System an und sind isomorph mit dem schwefelsauren, selensauren und chromsauren Kali. — In der Auflösung ist das mangansaure

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCI. S. 46.

Kali sehr wenig beständig, selbst wenn sie freies Kali enthält. Das Kali zieht nach und nach Kohlensäure an, und die dunkelgrüne Farbe geht in roth über; es bildet sich Uebermangansäure und Mangansuperoxyd, das sich ausscheidet. Mit der Zeit verschwindet auch die rothe Farbe und die Lösung wird farblos, indem auch die Uebermangansäure nach und nach durch die Kohlensäure der Luft des Kalis beraubt wird; es scheidet sich dann alles Mangan als Superoxyd ab. Rascher wird diese Zersetzung durch Zusatz einer stärkeren Säure herbeigeführt. Verdünnt man die concentrirte Lösung mit vielem Wasser, so geht die dunkelgrüne Farbe sehr bald in roth über. Dasselbe bewirken überhaupt alle desoxydirenden Substanzen. Aus diesem Grunde darf man die Lösung nicht durch Papier filtriren. Diese auffallende Farbenveränderung hat Veranlassung gegeben, daß die älteren Chemiker das mangansaure Kali mit dem Namen Chamaeleon minerale belegten. — Außerdem sind noch die Verbindungen der Mangansäure mit Natron, Baryt und Strontian bekannt.

Uebermangansäure $Mn^2 O^7$. Sie läßt sich als wässerige Lösung darstellen, wenn man den übermangansauren Baryt vorsichtig durch Schwefelsäure zersetzt. Die Lösung, welche eine sehr schöne rothe Farbe besitzt, ist jedoch sehr wenig beständig; geringe Wärme, Sonnenlicht, organische Substanzen und freies Ammoniak bewirken sehr rasch eine Entfärbung, wobei sich Mangansuperoxyd absetzt. Die Uebermangansäure ist eins der kräftigsten Oxydationsmittel. Die Salze der Uebermangansäure mit starken Basen, die keiner höheren Oxydation fähig, sind ziemlich beständig und deshalb auch in größerer Zahl dargestellt als die mangansauren Salze. Das übermangansaure Kali erhält man, wenn man eine concentrirte Lösung von mangansaurem Kali einige Zeit kocht; unter der Luftpumpe entstehen so intensiv rothgefärbte Krystalle, daß sie fast schwarz mit einem grünen metallischen Reflex erscheinen. In größeren Mengen stellt man diese Krystalle leicht dar, wenn man einem Gemisch aus gleichen Theilen Braunstein und chlorsaurem Kali einen viertel Theil kaustisches Kali in möglichst wenig Wasser gelöst zusetzt und das Ganze, nachdem das Wasser allmälig verdampft worden ist, langsam in einem Tiegel bis zur dunkeln Rothgluth erhitzt. Die erkaltete Masse löst man in Wasser, gießt die Lösung klar ab und dampft sie ein; beim Erkalten setzen sich zahlreiche Krystalle von übermangansaurem Kali ab. Das übermangansaure Kali ist sehr schwer in Wasser löslich. Wasser von 15° C. löst nur den $^1/_{16}$ Theil seines Gewichtes davon auf. Daher können die Krystalle dieses Salzes sehr leicht durch Umkrystallisiren von dem beigemengten Chlorkalium gereinigt werden. Ohne sich zu verändern, werden die Krystalle mit der Zeit stahlblau; das Pulver ist roth. Das übermangansaure Kali ist mit dem überchlorsauren Kali isomorph. Aus einer Lösung beider Salze schießen Krystalle an, in welchen beide Salze in demselben Verhältniß enthalten sind wie in der Lösung. Ist darin sehr viel überchlorsaures Kali enthalten, so sind die Krystalle roth; bestehen sie aus beiden Salzen zu gleichen Theilen, so sind sie schwarz. Erhitzt man die Krystalle von übermangansaurem Kali, so verlieren sie unter Knistern 10,8 Proc. Sauerstoff; es bleibt mangansaures und Mangansuperoxyd-Kali zurück. Mit Schwefel und Phosphor detoniren sie beim Erwärmen sehr heftig. Kohle, Arsen, Antimon verbrennen beim Erhitzen mit dem Salz. In einem Strom von Wasserstoff rasch auf 160° C. erhitzt, entsteht unter Feuererscheinung ein Gemenge von Kalihydrat und Manganoxydul.

Gießt man in eine warme Lösung von übermangansaurem Kali eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd, so scheiden sich nach dem Erkalten große regelmäßige Krystalle von übermangansaurem Silberoxyd aus. Mit Hülfe desselben kann man die übrigen übermangansauren Salze darstellen, wenn man die Lösung des ersten mit der entsprechenden Chlorverbindung mischt. Die Lösung des übermangansauren Kalis wird durch organische Substanzen gleichfalls zersetzt. Filtrirt man sie durch Papier, so ist das Filtrat grün gefärbt; es enthält also mangansaures Kali. Ist die Lösung sehr verdünnt und geht sie nur sehr langsam durchs Filter, so wird sie ganz farblos, während das Papier durch das ausgeschiedene Mangansuperoxydhydrat stark braun gefärbt erscheint. Gießt man in eine verdünnte Lösung von übermangansaurem Kali eine concentrirte Lösung von kaustischem Kali, so verändert sie die Farbe; sie wird zuerst violett, dann schön grün und enthält nun mangansaures Kali. Der Uebergang aus dem Rothen ins Grüne findet nicht plötzlich statt; gießt man die Lösung des kaustischen Kalis in kleinen Mengen zu, so nimmt die Flüssigkeit alle Nüaneen des Violetten, der Uebergangsfarbe vom Rothen zum Grünen an. Ist die Auflösung des übermangansauren Kalis sehr verdünnt, so bleibt der freigewordene Sauerstoff in dem Wasser gelöst oder es bildet sich vielleicht Wasserstoffsuperoxyd; die Flüssigkeit wird wieder roth, sobald man das hinzugefügte Kali mit einer Säure neutralisirt. Ammoniak entwickelt aus der Lösung des übermangansauren Kalis Stickgas, wobei sich Mangansuperoxydhydrat abscheidet.

Von den Verbindungen des Mangans mit anderen Elementen führen wir die mit Schwefel und Chlor an. Schwefelmangan MnS kommt natürlich, derb und in Krystallen (Würfeln) von eisenschwarzer, dunkel stahlgrauer oder bräunlich schwarzer Farbe als Manganglanz oder Manganblende vor. Das metallische Mangan verbindet sich nicht direct mit dem Schwefel; man muß daher diese Verbindung auf Umwegen darstellen. Sie fällt ab als Nebenproduct bei der Darstellung der schwefligen Säure aus Braunstein und Schwefel. Man erhält sie ferner, wenn man Manganoxyd mit Schwefel erhitzt oder wenn man über erhitztes kohlensaures Manganoxydul oder Manganoxyd-Oxydul einen Strom Schwefelwasserstoffgas leitet. An der Luft hält sich das Schwefelmangan nicht lange; es nimmt Sauerstoff auf und bräunt sich. Eben so ist der Schwefel nicht sehr innig damit verbunden; beim Erhitzen an der Luft entweicht er vollständig. Durch Wasserstoffgas wird der Schwefel gleichfalls entführt und durch Säuren, selbst verdünnte, wird das Schwefelmangan vollständig zerlegt. — Setzt man zu einer neutralen Auflösung eines Manganoxydulsalzes Schwefelammonium, so erhält man einen fleischfarbenen Niederschlag (Schwefelmanganhydrat), der nicht unlöslich in einem Ueberschuß des Fällungsmittels ist. Weitere den zahlreichen Sauerstoffverbindungen entsprechende Verbindungen des Mangans mit Schwefel kennt man nicht, wohl aber verschiedene Chlorverbindungen. Manganchlorür MnCl kann man auf sehr verschiedene Art darstellen. Das Mangan verbindet sich direct mit dem Chlor unter Feuererscheinung. Leitet man über kohlensaures Manganoxydul oder Oxyd-Oxydul bei Abschluß der Luft und allmälig gesteigerter Hitze trockenes Salzsäuregas, so erhält man diese Verbindung ebenfalls. Sie entsteht ferner, wenn man in starker Glühhitze trockenes Chlorgas über ein Gemenge von Manganoxydul mit Kohle leitet. Hier erhält man gelbe mit Kohle gemengte Krystalle; sonst ist das Manganchlorür blaß rosenroth und zeigt ein blättrig-

krystallinisches Gefüge. Es schmilzt in der Glühhitze, ist aber nur schwerflüchtig. Beim Glühen in feuchter Luft wird es zersetzt; es entweicht das Chlor als Salzsäure und der Rückstand ist Manganoxyd-Oxydul. Durch Wasserstoffgas wird es nicht zersetzt, wohl aber durch Phosphorwasserstoff und Schwefel. In Verbindung mit Wasser erhält man das Chlorür durch Auflösen irgend einer Oxydationsstufe des Mangans in Salzsäure. Den Braunstein reinigt man erst durch Salpetersäure; vom Eisenoxyd kann man die concentrirte Chlorürlösung durch einen Zusatz von kohlensaurem Manganoxydul befreien. Man kann auch den gereinigten Braunstein mit der Hälfte seines Gewichtes Salmiak glühen und den Rückstand mit Wasser ausziehen. Man erhält das Manganchlorür in großer Menge als Nebenproduct bei der Bereitung des Chlorgases aus Braunstein und Salzsäure. Die in dem natürlichen Erz enthaltenen Verunreinigungen, welche in die Lösung mit übergehen, entfernt man zumeist durch kohlensaures Kali oder Natron, das man so lange hinzusetzt, bis etwas kohlensaures Manganoxydul mit niederfällt. Aus seinen Lösungen krystallisirt das Chlorür in rosenrothen, vierseitigen Tafeln mit 4 Aequiv. Wasser. Nach Graham enthalten die Krystalle 6 Aequiv. Wasser. Bei + 25° zerfallen die Krystalle zu einem weißen Mehl und bei 50° fangen sie an zu schmelzen. Beim Erwärmen unter Luftabschluß geht das Wasser ganz fort. Das Manganchlorür ist sehr leicht in Wasser und Alkohol löslich. Es geht mit einigen Chlormetallen Verbindungen ein. Man benutzt es zur Darstellung der verschiedenen Mangansalze, in der Färberei und bei der Reinigung des Leuchtgases. Um die bei der Bereitung des Chlorgases abfallenden sehr bedeutenden Mengen von Manganchlorür in der Technik nutzbar zu verwenden, hat man versucht, dasselbe bei der Darstellung des Chlorkalkes zu verbrauchen. Man erhitzt es sehr gelinde in einem Ofen und leitet die stark mit Chlor beladenen Dämpfe in die Kalkkammern. Hierbei verwandelt sich das Manganchlorür in Manganoxyd und dieses diente wieder zur Chlorbereitung. Da dasselbe aber nur die Hälfte an Chlor liefert wie ein gleiches Gewicht Braunstein und da überhaupt diese Verwerthung des Manganchlorürs sehr beträchtliche Kosten verursachte, so ist man wieder ganz davon zurückgekommen. — Das Manganchlorid $Mn^2 Cl^3$ ist sehr wenig beständig. Durch Auflösen von Manganoxyd in kalter Salzsäure kann man das Chlorid nicht krystallisirt erhalten; die Lösung zersetzt sich schon in der Kälte. Das Mangansuperchlorid $Mn^2 Cl^7$ ist gleichfalls wenig beständig. Es entsteht, wenn man eine Lösung von übermangansaurem Kali in concentrirter Schwefelsäure mit geschmolzenem Chlorkalium oder Chlornatrium, das man nach und nach in kleinen Stücken zusetzt, erhitzt. Das hierbei entweichende grünlich gelbe Gas condensirt sich bei — 15 bis 20° zu einer braungelben Flüssigkeit, die sich an der Luft oder bei Zusatz von Wasser in Salzsäure und Uebermangansäure zersetzt. Erstere kann man durch feuchtes Silberoxyd entfernen und erhält dann eine Auflösung von reiner Uebermangansäure.

Die intensive grüne Färbung der mangansauren Alkalien giebt das leichteste Erkennungsmittel für das Mangan ab. Schmilzt man die zu untersuchende Substanz mit trockenem kohlensaurem Natron und etwas Salpeter zusammen, so tritt die grüne Farbe deutlich hervor, selbst wenn nur $^1/_{100}$ Proc. Mangan zugegen ist. Die Borax- und Phosphorsalzperle wird in der äußeren Flamme durch Mangan schön amethystroth gefärbt; in der inneren Flamme verschwindet diese Farbe wieder. Auf nassem Wege dienen zur Erkennung des Manganoxyduls unterchlorigsaures

Kali, kaustisches Kali und Schwefelammonium. Kocht man die Lösung eines Manganoxydulsalzes mit einem Ueberschuß von unterchlorigsaurem Kali, so schlägt sich Mangansuperoxyd nieder und die darüber stehende Flüssigkeit ist durch übermangansaures Kali sehr schön roth gefärbt. Kaustisches Kali erzeugt einen weißlichen Niederschlag von Manganoxydulhydrat, der sich an der Luft sogleich bräunt. Ammoniaksalze verhindern aber die Fällung theilweise, weshalb sie durch Kochen mit kaustischem Kali zersetzt werden müssen. Schwefelammonium fällt aus neutralen Lösungen hellfleischfarbenes Schwefelmangan, das sich an der Luft schnell bräunt. Die höheren Oxydationsstufen des Mangans kann man sehr leicht in die dem Oxydul entsprechende Chlorverbindung überführen und dann die eben genannten Reagentien in Anwendung bringen. — Quantitativ bestimmt man das Mangan am besten aus der kohlensauren Verbindung, die beim Glühen Manganoxyd-Oxydul zurückläßt. Es dürfen dann natürlich keine anderen Körper zugegen sein, deren kohlensaure Verbindungen gleichfalls unlöslich sind. W. B.

Manometer (von μανός, dünn, und μέτρον, das Maß) Dichtigkeitsmesser bezeichnet zunächst ein Instrument, durch welches die Dichte der atmosphärischen Luft angegeben wird. In diesem Sinne wird das Wort in älteren physikalischen Schriften gebraucht.

Die Dichte der Luft, d. i. die relative Menge von Luft in einem bestimmten Volumen, ist abhängig von dem Luftdruck und von der Temperatur. Nach dem Mariotte'schen Gesetz nimmt die Dichte zu proportional mit dem Drucke, nach dem Gay-Lussac'schen Gesetz aber nimmt sie ab, proportional mit der Zunahme der Temperatur. Der Druck der Luft, d. i. ihre elastische Spannung wird durch das Barometer angegeben; deshalb kann die Dichte der Luft nicht unmittelbar durch das Barometer angegeben werden, sondern wird erst mittelbar erkennbar unter Zuhülfenahme des Thermometers. Bei gleichem Barometerstande ist die kältere Luft die dichtere, bei gleicher Temperatur aber ist die Luft die dichtere, welche den höheren Barometerstand zeigt.

Die Instrumente, welche die Dichte der Luft direct anzeigen sollen, können eine doppelte Einrichtung haben. Die eine Art gründet sich auf das aërostatische Gesetz, daß jeder Körper in der Luft so viel an Gewicht verliert, als das Gewicht der verdrängten Luftmenge beträgt; daraus folgt nun, daß von zwei gleich schweren Körpern der dem Volumen nach größere den größeren Gewichtsverlust erleidet, und ferner, daß dieser Gewichtsverlust in Luft von größerer Dichte bedeutender ist als in Luft von geringerer Dichte. Befindet sich nun an dem einen Ende eines leichten Wagebalkens ein Körper von großem Volumen, etwa eine dünnwandige, aber vollständig verschlossene Flasche oder eine Hohlkugel, an dem anderen Ende aber ein gleich schwerer, aber massiver Körper von möglichst großem specifischen Gewicht, entweder ein Stück Blei oder Platina oder eine kleine mit Quecksilber gefüllte Glaskugel, und befindet sich der Wagebalken für eine gewisse Luftdichte im Gleichgewicht, so wird eine Veränderung in der Luftdichte den Gleichgewichtszustand des Apparats stören. Nimmt die Luftdichte zu, so wird die Hohlkugel relativ leichter als das massive Bleistück und wird also steigen, nimmt aber die Luftdichte ab, so wird sie relativ schwerer als das Bleistück und muß also sinken. Die Größe der Gleichgewichtsstörung kann man entweder durch einen

Zeiger auf einer Bogenscala angeben lassen, oder man bringt auf dem Wagebalken ein Laufergewicht an, das man so verschiebt, daß der ursprüngliche Gleichgewichtszustand wieder hergestellt ist. Auf diesem Princip beruhte das erste Manometer, das von Otto von Guericke hergestellt wurde, eben so das von Franz von Gerstner construirte. Diese Apparate heißen jetzt gewöhnlich Dasymeter.

Eigentlich geben diese Instrumente die Gewichtsveränderung an, die ein gewisses Quantum Luft erleidet, mit dem specifischen Gewichte ist aber an einer und derselben Stelle der Erdoberfläche die Dichte stets proportional, so daß aus ihnen die Veränderung in der Dichte erkannt werden kann. Eine andere Art von Manometer geht von dem Satze aus, daß die Dichte der Luft umgekehrt proportional ist mit dem Volumen, welches ein bestimmtes Luftquantum einnimmt. Sie bestehen dann im Wesentlichen aus einem Gefäß, in welchem eine gewisse Menge Luft so abgesperrt ist, daß die Absperrung durch eine geringe Quantität Quecksilber bewirkt wird, die sich in einer engen, nach Außen offenen Röhre befindet. Da das Gewicht der horizontal liegenden kleinen Quecksilbermasse auf den Elasticitätszustand der abgesperrten Luft keinen Einfluß üben kann, so wird derselbe stets mit der Elasticität der äußeren Luft übereinstimmen, und eine Veränderung des letzteren wird sich durch eine Bewegung des Quecksilbers zu erkennen geben. Trägt nun noch die Röhre, in welcher das Quecksilber sich bewegt, eine entsprechend eingerichtete Scala, so läßt sich an derselben der Dichtigkeitszustand der Luft sogleich erkennen. Instrumente dieser Art heißen auch Elaterometer.

In neuerer Zeit bezeichnet man aber mit dem Worte Manometer im Widerspruche mit der Etymologie desselben eine Gruppe von Instrumenten, deren nächster Zweck ist, nicht die Dichte, sondern den Expansivdruck elastischer Flüssigkeiten anzugeben; sie werden angewendet bei Gebläsen, vorzüglich aber bei Dampfkesseln. Es giebt verschiedene Arten solcher Manometer, je nachdem sie bestimmt sind, niedere oder hohe Drücke zu messen, oder je nachdem sie ihre Dienste bei stehenden Maschinen oder bei stark bewegten Maschinen, z. B. an Locomotiven, leisten sollen. Die einzelnen Apparate sind bereits an anderen Stellen beschrieben (vergl. die Art. Kraftmesser, Dampfmaschine Bd. II. S. 343 ff., (Locomotive Bd. IV. S. 605, auch Luftpumpe Bd. IV. S. 727), hier genüge eine übersichtliche Zusammenstellung der einzelnen Arten.

Man kann die Manometer eintheilen in 1) hydrostatische, 2) aërostatische und 3) geostatische, je nachdem der Gegendruck, durch welchen der zu messende Druck im Gleichgewicht gehalten werden soll, ein hydrostatischer, aërostatischer oder geostatischer ist.

1) Hydrostatische Manometer oder offene Manometer bestehen aus einer zweischenkligen Röhre, deren einer Schenkel mit dem Luft- oder Dampfkessel communicirt, der andere ist offen; in der Röhre befindet sich eine Flüssigkeit, auf welche der zu messende Expansivdruck wirkt, so daß sie in dem äußeren Schenkel aufsteigt; der Unterschied der Höhe der Flüssigkeitssäulen giebt unmittelbar den Druck im Luft- oder Dampfkessel an. Ist nur ein sehr geringer Druck zu messen, wie z. B. bei einem Gebläse oder bei einer Gasleitung, so genügt Wasser als Manometerflüssigkeit (Wassermanometer), sonst ist Quecksilber nöthig (Quecksilbermanometer). Der Stand der Flüssigkeit wird entweder unmittelbar abgelesen, wo dann wenigstens der eine Röhrenschenkel von Glas sein muß, oder er wird

durch einen Schwimmer angezeigt, und dann ist die Röhre gewöhnlich von Gußeisen. Soll ein offenes Quecksilbermanometer einen hohen Dampfdruck angeben, dann muß der äußere Schenkel eine solche Länge haben, die für jede Atmosphäre Ueberdruck 28 Zoll enthält. Die Unbequemlichkeit, die bei Hochdruckkesseln durch eine übermäßige Länge der Manometerröhre entstehen würde, vermeidet das Differenzialmanometer; die Manometerröhre ist mehrere Male aufwärts und abwärts gebogen, und jedes Paar zusammengehörender Schenkel ist zur Hälfte mit Quecksilber, zur Hälfte mit Luft angefüllt. Die messende Quecksilbersäule zerfällt dadurch in einzelne Abschnitte, deren Summe den inneren Dampfdruck angiebt. Im Manometer von Journeur wirkt der Dampf nicht unmittelbar auf das Quecksilber, sondern zunächst auf eine kleine bewegliche Metallscheibe, das Quecksilber drückt auf eine größere Scheibe und beide Drucke übertragen sich auf einander mittelst eines zwischen den Scheiben befindlichen Stiels; so kann eine kleinere Quecksilbersäule einem größeren Dampfdruck das Gleichgewicht halten.

2) Aërostatische Manometer oder geschlossene Manometer, Luftmanometer. Auch hier ist, wie bei dem vorigen, der Raum des Dampf- oder Windkessels durch Quecksilber abgesperrt, das durch den zu messenden Druck in eine Röhre getrieben wird; diese ist aber oben geschlossen und enthält in ihrem oberen Theile Luft. Je mehr das Quecksilber steigt, desto mehr wird diese Luft zusammengepreßt, bis ihr vermehrter Expansivdruck in Verbindung mit dem Ueberdruck der Quecksilbersäule unter ihr dem Dampfdruck das Gleichgewicht hält. Ist die Röhre cylindrisch, so müssen die Theile der Scala um so kleiner werden, je größer der Dampfdruck wird, der an ihnen abgelesen werden soll. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, macht man die Röhre nach oben enger, läßt sie aber mit einer Kugel oder einem birnförmigen Ansatz schließen. Da die Verjüngung der Röhrenweite in der Regel nach einer Hyperbel erfolgt, so heißt diese Art hyperbolische Manometer. Die Scala wird dann empirisch bestimmt.

3) Geostatische Manometer. Der Gegendruck gegen den Dampf wird besonders ausgeübt durch irgend einen festen, elastischen Körper. Hier sind verschiedene Einrichtungen denkbar.

a) Beim Federmanometer wirkt der Dampfdruck gegen einen Kolben, der durch eine Schraubenfeder niedergehalten wird; eine Kolbenstange giebt äußerlich an einer Scala den Stand des Kolbens und dadurch mittelbar die Größe des Dampfdrucks an.

b) Das dynamometrische Manometer von Bourdon. Der Dampf steht mit dem Innern einer krummen dünnwandigen und am Ende geschlossenen Röhre in Verbindung und der Dampfdruck sucht die Röhre etwas zu strecken. Das Ende der Röhre weist entweder unmittelbar auf eine Scala oder bewegt erst einen Fühlhebel, der mit seinem längern Arm auf eine Scala zeigt.

c) Plattenmanometer. Der Dampf wirkt gegen eine kleine Platte von dünnem Stahlblech und sucht sie nach Außen zu krümmen, die Größe dieser Krümmung wird durch einen Fühlhebel vergrößert an einer Scala angezeigt.

In allen diesen Fällen wird die Scala empirisch bestimmt, indem man mittelst der Druckpumpe einen bekannten Druck auf das Manometer wirken läßt.

Wegen einer möglichen Veränderung in der Elasticität der angewandten Federn ist von Zeit zu Zeit eine Revision dieser Manometer nöthig. W. S.

Mariotte'sches Gesetz, s. Gas.

Mars, s. Planeten.

Maschine (franz. und engl. machine, von dem griech. μηχανή, Werkzeug) ist eine Vorrichtung zur Abänderung der Wirkungsweise einer mechanischen Kraft.

Bei der großen Mannigfaltigkeit der Maschinen ist es schwierig, das allen gemeinsame Wesentliche zu einem kurzen Ausdruck zu bringen. Unter den physischen Kräften heißen diejenigen mechanische, deren Wirkung die Bewegung materieller Körper ist, oder welche einen Druck erzeugen, wenn die Bewegung gehindert ist, oder eine vorhandene Bewegung abändern. Solche Kräfte sind die Schwere der Körper, die Muskelkraft lebender Geschöpfe, die Elasticität, die Cohäsion und Adhäsion, und selbst der Magnetismus, die Elektricität und die Wärme, insofern dieselben bewegend wirken können. In nur wenigen Fällen können diese Kräfte unmittelbar eine beabsichtigte Wirkung ausüben; so bedient man sich der Schwere unmittelbar zum Pressen, indem man große Steine auf den zu pressenden Gegenstand legt, eben so kann man durch die Muskelkraft unmittelbar gewisse Lasten heben und fortbewegen, oder gewisse Substanzen zerreißen, zerreiben und dergl., aber in den meisten Fällen sind die zu Gebote stehenden Kräfte zu gerade beabsichtigten Wirkungen nicht unmittelbar brauchbar, können aber dazu brauchbar gemacht werden durch Anwendung von Vorrichtungen, welche die Wirkungsweise dieser Kräfte abändern. Unmittelbar wird die Muskelkraft eines Mannes wohl nicht vermögen eine Last von 6 Centnern zu heben, aber durch Anwendung eines Hebels oder eines Flaschenzuges vermag er es recht wohl; durch Anwendung solcher Maschinen hat die Arbeitskraft des Mannes keinen Zuwachs erhalten, wohl aber ist die Wirkungsweise seiner Kraft eine andere geworden. Die Kraft, durch welche in unseren Wassermühlen das Getreide gemahlen wird, ist entweder die Schwere oder der Stoß des Wassers; wollte man diese Kräfte unmittelbar auf das Getreide wirken lassen, so möchte der Druck, den jedes einzelne Korn erleiden würde, nicht ausreichend sein, die Cohäsion seiner Theile zu überwinden, abgesehen davon, daß diese unmittelbare Einwirkung andere wesentliche Uebelstände mit sich brächte. Durch die Mühle aber wird die gegebene Kraft des Wassers so abgeändert, daß dieselbe in jedem Moment auf nur verhältnißmäßig wenige Körner gelenkt wird, und zwar in einer Weise, daß die Cohäsion der Körner jener Einwirkung nicht widerstehen kann. Die Abänderung in der Wirkungsweise gegebener mechanischer Kräfte ist das Wesen und der Zweck aller Maschinen. Diesem Zweck entsprechen auch die sogenannten Arbeitswerkzeuge. Der Hammer und der Schlägel sollen die Wirkung eines längeren Drucks in eine (fast) augenblickliche Wirkung umwandeln, denn beide mußten durch eine Druckkraft gehoben werden, und werden beim Niederschlagen noch durch den Druck des Armes beschleunigt, in dem Schlage liegt nun die Gesammtwirkung beider Drucke vereinigt. War nun der Schlag des Schlägels gegen das breite Ende eines Meißels gerichtet, so wird durch diesen die Wirkung des Schlages auf eine Linie übertragen, und vermag hier eine bestimmte Wirkung hervorzubringen, z. B. eine Zertrennung der Holzfasern in dieser Linie, wenn der Meißel auf eine Holzfläche aufgesetzt war, eine Wirkung, die durch unmittelbare Anwendung der Muskelkraft hervorzubringen nicht möglich gewesen

wäre. Wegen der Gleichheit des Zweckes sind daher die Werkzeuge zu den Maschinen zu rechnen.

An einer Kraft unterscheiden wir den Angriffspunkt, die Richtung, die Stärke; jedes dieser Stücke kann der Abänderung bedürfen, entweder allein für sich oder in Verbindung mit den anderen Stücken. Der Drücker eines Thürschlosses giebt dem Drucke meiner Hand einen anderen Angriffspunkt, indem er die Klinke hebt, die vielleicht jenseits des Thürschlosses in dem Haken liegt; ein Klingelzug leitet den Zug meiner Hand vielleicht durch mehrere Wände hindurch bis zur Glocke. Hierbei wird zugleich durch die angebrachten Winkelhebel die Richtung des Zuges geändert, auch durch eine über eine feste Rolle gehendes Seil wird die Richtung einer Kraft abgeändert. Der ungleicharmige Hebel mag als Beispiel dienen, wie die Stärke einer Kraft abgeändert werden kann; der am längeren Arm wirkende schwache Druck bringt am Ende des kurzen Armes einen starken Druck hervor, und umgekehrt würde ein am Ende des kurzen Armes wirkender starker Druck am Ende des längeren Armes einen schwächeren hervorbringen. Aus diesem Beispiele zeigt sich schon, daß meistens mehrere Bestimmungsstücke der Kraft zugleich abgeändert werden, selbst wenn nur die eine Abänderung die bezweckte ist.

Die Eintheilung der Maschinen kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Die zunächst liegende Eintheilung berücksichtigt die Construction der Maschinen; diese sind demnach entweder einfache oder zusammengesetzte Maschinen. Die einfachen Maschinen geben nur eine einmalige Abänderung der gegebenen Kraft, die zusammengesetzten eine mehrmalige, in der Art, daß die bereits abgeänderte Kraft immer noch weiteren Umwandlungen unterworfen wird. In den zusammengesetzten Maschinen wiederholt sich nur die Wirkungsweise der einfachen, daher aus diesen schon die allgemeinen Gesetze der Maschinenthätigkeit erkannt werden können. Einfache Maschinen nimmt man sechs an, den Hebel, die Rolle, das Wellenrad, die schiefe Ebene, den Keil, die Schraube; sie lassen sich in zwei Gruppen zusammenstellen, denn die von der einfachen Maschine verlangte Bewegung ist entweder eine Drehbewegung um eine Are oder eine geradlinig fortschreitende Bewegung. Die Elementarmaschine für die Drehbewegung ist der Hebel, und für die geradlinig fortschreitende Bewegung ist es die schiefe Ebene; Modificationen des Hebels sind die Rolle und das Wellenrad, Modificationen der schiefen Ebene sind der Keil und die Schraube, und zwar in der Art, daß in der Schraube die geradlinig fortschreitende Bewegung mit der Drehbewegung vereinigt erscheint. Das Gemeinsame aller einfachen Maschinen besteht in Folgendem:

1) Sie bestehen aus zwei Theilen: einem beweglichen und einem unbeweglichen, jener ist der eigentliche Maschinentheil, dieser bildet die Unterlage; z. B. bei einem Wellenrade bildet die Welle sammt Zapfen und Rad oder Kurbel den beweglichen Theil, die Zapfenlager mit ihrer weiteren Grundlage, dem Gestell oder dergleichen bilden den unbeweglichen Theil; bei einer Schraube kann die Spindel den beweglichen Theil bilden, die Mutter den unbeweglichen, aber es kann auch der umgekehrte Fall stattfinden.

2) An dem beweglichen Maschinentheil wirkt die bewegende Kraft (vorzugsweise Kraft genannt), und der zu bewegende Widerstand, die Last; indem die Kraft die Last zu überwinden sucht, entsteht an der Berührungsstelle zwischen dem

beweglichen Maschinentheil und seiner Unterlage ein Druck, und wenn eine Bewegung eintritt, tritt zugleich an dieser Stelle eine Reibung auf, und diese wirkt wie eine unbeabsichtigte aber unvermeidliche Lastvermehrung.

3) Bezeichnen wir mit P die bewegende Kraft, mit Q die zu überwindende Last, so kann theoretisch genommen zwischen P und Q jedes mögliche Verhältniß bestehen; man könnte demnach durch jede einfache Maschine den schwächsten Druck P in den stärksten Druck Q verwandeln oder umgekehrt. Bezeichnet man ferner mit V die Geschwindigkeit, welche man dem Angriffspunkte der Kraft giebt, und mit W die Geschwindigkeit, die demzufolge der Angriffspunkt der Last annimmt, so kann ebenfalls theoretisch genommen zwischen V und W jedes mögliche Verhältniß bestehen; man könnte demnach durch jede einfache Maschine die langsamste Bewegung in die schnellste verwandeln, oder umgekehrt die schnellste Bewegung in die langsamste. Die praktische Ausführung legt zwar diesen Sätzen einige Beschränkung auf, die aber in jeder nur wünschenswerthen Weise durch Zusammensetzung mehrerer einfachen Maschinen gemildert werden kann.

4) Die beiden Verhältnisse P : Q und V : W sind aber nicht unabhängig von einander, wählt man das eine willkürlich, so hat man das andere nicht mehr in seiner Willkür. Sieht man von der am Druckpunkte stattfindenden Reibung (Nr. 2) ab, so ist das eine unserer beiden Verhältnisse die Umkehrung des anderen, so also, daß $PV = QW$ *) ist. Nun nennt man das Product einer Kraft mit ihrer Geschwindigkeit (d. h. der Geschwindigkeit ihres Angriffspunktes) die Arbeit der Kraft für die Zeiteinheit, demnach bezeichnet PV die secundliche Arbeit der Kraft, QW die secundliche Arbeit der Last, und es folgt also, daß, ohne Rücksicht auf die unvermeidliche Reibung und andere Nebenhindernisse zu nehmen, bei allen einfachen Maschinen die Arbeit der Kraft gleich der Arbeit der Last ist.

5) Nun aber läßt sich die Reibung nie umgehen, sie darf also auch bei der Betrachtung der Maschinengesetze nicht fortgelassen werden, dazu kommt noch, daß meistens noch andere Hindernisse wie der Widerstand der Luft und des Wassers, die Steifheit der angewendeten Seile oder Riemen auftreten und dann wohl gemindert aber nicht beseitigt werden können; deshalb kann jene Gleichung $PV = QW$ in der Wirklichkeit nie bestehen. Von der gegebenen Kraft P muß sich ein Theil, wenn auch nur ein kleiner, abzweigen, um jene Reibung zu überwinden, es bleibt also nur ein Theil von P übrig, etwa p, dessen Arbeit pV sich in die Arbeit der Last verwandeln kann, diese kann nun nicht mehr QW sein, sondern ist etwa qW, so daß $q < Q$ ist, daher ist denn auch in allen Fällen $PV > qW$, d. h. die Arbeit der Last ist stets kleiner als die Arbeit der Kraft. Es geht also eine Arbeit $(Q - q)W$ zur Ueberwindung der Hindernisse verloren, und diese Hindernisse entsprechen einer Lastverminderung von $Q - q$. Die Last q, deren Ueberwindung beabsichtigt war, heißt Nutzlast, die Last $Q - q$, welcher die unvermeidlichen Nebenhindernisse entsprechen und welche wider unseren Willen auftritt, heißt Nebenlast. Die Arbeit der Nutzlast heißt

*) Hierbei und im Folgenden wird vorausgesetzt, daß die Geschwindigkeiten der beiden Angriffspunkte in der Richtung der zugehörigen Kräfte liegen; sollte das nicht der Fall sein, so ist unter V und W die jedesmalige Projection der Geschwindigkeit auf die Kraftrichtung zu verstehen.

Nutzeffect und in allen Fällen läßt sich derselbe in Procenten der von der Maschine aufgenommenen Arbeit der bewegenden Kraft ausdrücken.

Wenden wir nun diese Sätze auf die zusammengesetzten Maschinen an, so folgt, daß je mehr einfache Maschinen sich an einander reihen, desto mehr auch die von der Maschine aufgenommene Arbeit der Kraft sich mindert und der Procentgehalt des Nutzeffectes kleiner wird. Die ganze Kunst des Maschinenbaues ist nun darauf gerichtet, den größtmöglichsten Procentgehalt des Nutzeffects zu erzielen, und dazu giebt es nur zwei Wege: erstens äußerste Vereinfachung in der Zusammensetzung der Maschinen, indem man nur so viel einfache Maschinen mit einander verbindet, als zur Erzeugung der beabsichtigten Umwandlung der gegebenen Kraft unumgänglich nöthig sind; und zweitens äußerste Verminderung der Nebenlast; denn wenn gleich die Nebenhindernisse sich auch nicht vollständig beseitigen lassen, so lassen sie sich doch oft sehr vermindern. Doch darf diese Verminderung nicht auf Kosten der Festigkeit und Dauerhaftigkeit geschehen. Die besseren zusammengesetzten Maschinen geben etwa 60 bis 75 Proc. Nutzeffect. Von hier aus übersieht man auch den Irrthum des mechanischen Aberglaubens an die Möglichkeit eines Perpetuum Mobile, als ob es möglich wäre durch besonders künstliche Verbindung der einfachen Maschinentheile eine Maschine zu construiren, die ohne Kraft von Außen aufzunehmen, eine ununterbrochene Arbeit zu liefern vermöchte, oder wenigstens nur in ununterbrochener Bewegung bleiben könnte. Denn wenn auch durch eine Maschine eine kleine Kraft in einen großen Druck, oder eine langsame Geschwindigkeit in eine sehr schnelle verwandelt werden kann, so kann doch keine Maschine sich bewegen, ohne eine äußere Kraft aufzunehmen, und keine kann die aufgenommene Arbeit der Kraft unvermindert bewahren; denn so lange die Bewegung dauert, zehren die Nebenhindernisse von dieser Arbeit, und jede Maschine muß zum Stillstand kommen, die nicht fortwährend oder von Zeit zu Zeit neue Arbeit von bewegenden Kräften in sich aufnimmt.

Die Art der Zusammensetzung der Maschinen kann nun sehr verschieden sein; bei einigen Maschinen soll nur eine Arbeit verrichtet werden, die von der Maschine aufgenommene Kraft wird auf ein Ziel geleitet, und nur einzelne Theile derselben werden zur Ueberwindung der Nebenhindernisse verwendet; hierher gehören die Aufzugs- und Fortbewegungsmaschinen, welche nur die Last heben oder fortbewegen sollen; andere Maschinen sollen zugleich mehrere Arbeiten verrichten, die meistens unter einander zusammenhängen; so soll die Mahlmühle zuerst das Getreide schroten, d. i. die Cohäsion der Körner überwinden, dann soll sie aber auch das Mehl von der Kleie trennen, die Sägemühle soll nicht blos die Sägegatter zum Schneiden bewegen, sondern sie soll den Schlitten, auf welchem der Block liegt, gegen die Säge hinführen. Hier muß die ursprünglich einheitliche Kraft sich theilen, um die verschiedenen Arbeitsformen leisten zu können.

Eine andere wesentliche Unterscheidung der Maschinen besteht darin, daß die Wirksamkeit der einen Art nicht an eine bestimmte Geschwindigkeit gebunden ist, so daß sie je nach Erfordern langsam oder schnell in Bewegung gesetzt werden und in solcher Bewegung ihre Dienste leisten können, oder ihre Wirksamkeit ist an eine bestimmte Geschwindigkeit gebunden. Zu der ersten Art gehören z. B. die Aufzugsmaschinen, die eine langsame oder schnelle Bewegung annehmen können, sie leisten immer dasselbe, d. h. sie bewirken immer eine Umsetzung der Kraft oder eine Umsetzung der Geschwindigkeit in stets sich gleich

bleibenden Verhältnissen. Ist ein Krahn so eingerichtet, daß man mit einer Kraft an der Kurbel eine 40 mal schwerere Last heben kann, so wird man mit dieser Maschine bald schwere bald geringe Lasten heben können; man wird auch die aufsteigende Bewegung der Last bald schnell, bald langsam vor sich gehen lassen können, je nachdem man an der Kurbel mehr oder weniger Arbeiter wirken läßt.

Ein Beispiel der zweiten Art sind die Wassermühlen, hier ist es nicht gleichgültig, mit welcher Geschwindigkeit sie sich bewegen. Wollte sich das oberschlächtige Mühlrad zu langsam bewegen, so würde es nicht im Stande sein, alles Mahlwasser in seine Zellen aufzunehmen, diese würden sich überfüllen und ihr Wasser größtentheils zu früh ausschütten, auch könnte viel Wasser über das gefüllte Rad weglaufen. Das zu schnell umgehende oberschlächtige Rad würde nicht genug Wasser in seine Zellen aufnehmen können, um einen großen Druck auf das innere Gangzeug auszuüben, auch würde es wegen der zu großen Centrifugalität das Wasser zu früh verlieren. Deshalb ist jedes oberschlächtige Wasserrad nicht blos für ein bestimmtes Wasserquantum, sondern auch für eine bestimmte Geschwindigkeit von vornherein berechnet. Dasselbe gilt von einem unterschlächtigen Rade. Eben so ist die Geschwindigkeit des Mühlsteins nicht gleichgültig, ein zu langsam umgehender Läufer würde das Korn zwar zermalmen, aber das Schrot würde wegen zu geringer Centrifugalität nicht leicht die Mühlsteine verlassen, bei zu schnell gehenden Mühlsteinen würde das Mehl nicht gut ausfallen. Die erste Art der Maschinen, deren Wirksamkeit nicht an eine bestimmte Geschwindigkeit gebunden ist, könnte man **statische** Maschinen, die der zweiten Art **dynamische** Maschinen nennen, da jene in der Statik, diese in der Dynamik (Lehre von der Bewegung) ihre theoretische Begründung finden.

Mit dieser Unterscheidung correspondirt auch die Unterscheidung des statischen und des dynamischen Gleichgewichts an Maschinen. **Gleichgewicht** überhaupt ist der Zustand einer Maschine, in welchem der Einfluß der Gesammtlast (Nutzlast und Nebenlast zusammengenommen) auf die Bewegung der Maschine so groß ist als der Einfluß der bewegenden Kraft. Das **statische** Gleichgewicht ist ein Zustand der Ruhe, weil Kraft und Last, jede eine Bewegung hervorbringen wollen, die der Bewegung der anderen entgegengesetzt ist; so entsteht gar keine Bewegung, sondern die Kräfte heben sich gegenseitig so auf, daß Ruhe eintritt. Eine Bewegung im Sinne der Kraft tritt nur dann ein, wenn ein gewisser Ueberschuß von Kraft angewendet wird, und die Bewegung wird um so schneller vor sich gehen, je größer dieser Ueberschuß ist. Soll mit dem oben angeführten Krahn eine Last von 600 Pfund gehoben werden (Nutzlast) und beträgt die Nebenlast $^1/_3$ der Nutzlast, liefert also die Maschine einen Nutzeffect von 75 Proc., so beträgt die Gesammtlast 800 Pfund; wird nun an der Kurbel ein Druck von $\frac{800}{40} = 20$ Pfd. ausgeübt, so wird der Druck der Kraft gleich dem Zuge der Last sein und die Maschine wird sich nicht bewegen. Sie ist aber im (statischen) Gleichgewicht, und bei einer geringen Vermehrung dieser Kraft, etwa auf 21 oder 22 Pfund, wird die Maschine in Bewegung gesetzt und die Last gehoben, und zwar wird das Heben der Last bei einer Kraft von 22 Pfd. noch viel langsamer vor sich gehen, als wenn die bewegende Kraft 25 Pfd. betrüge. Die Bewegung einer Maschine tritt demnach ein durch Störung des statischen Gleichgewichts, wenn der Druck

der bewegenden Kraft größer ist als der Gegendruck der Gesammtlast. Bleibt nun der Ueberschuß der bewegenden Kraft über die Last auch noch während der Bewegung, so muß er auf fortwährende Steigerung der Bewegung, auf Zunahme ihrer Geschwindigkeit wirken. In den meisten Fällen aber, oder streng genommen in allen in der Wirklichkeit vorkommenden Fällen wachsen entweder die Widerstände zugleich mit der Geschwindigkeit, oder die treibende Kraft wird bei großer Geschwindigkeit geringer; letzteres ist stets bei der thierischen und menschlichen Muskelkraft der Fall, ersteres immer bei dem Widerstande, den die Luft, das Wasser oder die Cohäsion fester Stoffe der Bewegung entgegensetzen. Ist nun auch durch einen Ueberschuß an bewegender Kraft das statische Gleichgewicht gestört und eine Bewegung eingetreten so wird doch nie die Geschwindigkeit dieser Bewegung unbegrenzt zunehmen, sondern es wird, und zwar meistens bald, durch Vermehrung der Hindernisse und Verminderung der Kraft jener Kraftüberschuß ausgeglichen sein, alsdann wird zwar die Bewegung nicht aufhören, wohl aber ihre Beschleunigung; die Maschine wird mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortgehen, so lange dieses Verhältniß von Kraft und Last bestehen bleibt.

Dieses Verhältniß heißt nun das dynamische Gleichgewicht oder der Beharrungszustand der Maschine. Um auch diesen Punkt durch ein Beispiel zu erläutern, wollen wir uns wieder zu den Mahlmühlen wenden. Wird eine oberschlächtige Mahlmühle angelassen, so füllen sich bei der anfänglich langsamen Bewegung des Rades seine Zellen vollständig mit Wasser, so daß ein großes Wassergewicht an der vorderen Seite des Rades wirkt, gleichzeitig kommen aber wegen der anfänglich langsamen Bewegung des Läufers nur wenig Körner zwischen die Steine, üben also nur geringen Widerstand aus. Der große Ueberschuß an bewegender Kraft wird nun verwandt zur Beschleunigung des Maschinenganges, je schneller aber das Wasserrad geht, desto weniger Wasser können die Zellen des Rades aufnehmen, desto mehr Getreide wird aber zwischen die Steine kommen, die bewegende Kraft nimmt also ab, die Last nimmt zu, der Kraftüberschuß wird bald aufhören und die Mühle wird dann ihren gleichmäßigen Gang angenommen haben.

Für alle die Maschinen, die zu ihrer Arbeit einen gleichmäßigen Gang nothwendig erfordern, z. B. bei Spinnereien, ist die Erhaltung des Beharrungszustandes eine Hauptbedingung. Diese Erhaltung ist dort leicht zu erzielen, wo der gleichmäßig wirkenden Last auch eine gleichmäßig wirkende Kraft entgegentritt; wirkt aber die bewegende Kraft ungleichmäßig, etwa in Absätzen wie die gewöhnlichen Dampfmaschinen, bei welchen zwischen jeder Hubbewegung des Kolbens ein todter Punkt eintritt, ein momentanes Nichtwirken der Kraft, und bei denen auch während jedes einzelnen Hubes die Kraft nicht gleichmäßig wirkt, sondern in der ersten Hälfte mit steigender Stärke, später mit abnehmender, so erfordert die Erhaltung des Beharrungszustandes besondere Vorrichtungen. Das letztere ist auch dann nöthig, wenn wohl die Kraft gleichmäßig wirkt, die Last aber bald stark, bald schwach zurückwirkt.

Die Hauptvorrichtungen zur Erhaltung des Beharrungszustandes der Maschinen bei wechselndem Verhältniß zwischen Kraft und Last sind das Schwungrad und der Windkessel, letzterer ist jedoch nur da anwendbar, wo es sich um die Bewegung von Flüssigkeiten handelt. Vorrichtungen zu diesem Zweck heißen im Allgemeinen Regulatoren. Das Schwungrad, ein schweres Rad, dessen

Masse so viel als möglich an seiner Peripherie angebracht wird, hindert eine zu schnelle Beschleunigung der Maschine bei vorhandenem Kraftüberschusse, es vermag schon bei einer mäßigen Zunahme seiner Umdrehungsgeschwindigkeit ein großes Quantum Arbeit des Kraftüberschusses in sich aufzunehmen; wird dann vorübergehend der Lastwiderstand der Maschine größer als die Kraftwirkung, so wird ebenfalls keine zu schnelle Verminderung im gehemmten Maschinengang eintreten, sondern durch eine geringe Verminderung in der Umdrehungsgeschwindigkeit des Schwungrades kann schon eine Zeitlang der Ausfall an bewegender Kraft gedeckt werden. So sieht man denn das Schwungrad als einen Reservoir von Arbeit an, in dem man zur Zeit des Kraftüberflusses Arbeit aufsparen kann, um sie zur Zeit des Kraftmangels zu verwenden. So kommen Schwungräder vielfach vor bei der Krummzapfenbewegung, um die Nachtheile der todten Punkte zu vermeiden. Man kann auch durch ein Schwungrad sehr große Unterschiede zwischen der Kraft und Last ausgleichen, es läßt sich in ihm die Arbeit einer kleinen bewegenden Kraft aufspeichern, um auf kurze Zeit einen großen Widerstand überwinden zu können. In dieser Beziehung wird das Schwungrad namentlich bei Walzwerken angewendet; durch längere Wirkung der bewegenden Kraft wird ein schweres Schwungrad in eine zuletzt schnelle Bewegung gesetzt, um dann sein Beharrungsvermögen zu benutzen und mittelst der Preßwalzen einen bedeutenden Druck schnell auszuüben, was durch unmittelbare Anwendung der bewegenden Kraft nicht möglich gewesen wäre. Das Schwungrad kann die Wirkung der bewegenden Kraft ausgleichen und vertheilen, aber es selbst giebt keinen Kraftzuschuß, ja es schafft sogar in seiner eigenen Zapfenreibung einen oft nicht unbedeutenden Widerstand, weshalb es, auch abgesehen von den Kosten der Herstellung, räthlich ist, das Schwungrad nicht größer zu machen als eben nothwendig ist. Sollen Flüssigkeiten gleichmäßig bewegt werden, so vertritt der Windkessel die Stelle des Schwungrades. So wirkt bei der gewöhnlichen Feuerspritze die Kraft in Absätzen, der Wasserstrahl soll aber ununterbrochen aus der Steigröhre fließen, deshalb wird das aus den Pumpenstiefeln kommende Wasser erst in den Windkessel geleitet, in den es stoßweise eintritt, dadurch erleidet aber die Spannung der Luft in demselben nur eine geringe, zugleich nur allmälig eintretende Aenderung; sie vermag also im gewöhnlichen Gange der Maschine mit ziemlich gleichmäßiger Kraft das Wasser durch die Steigröhre hinauszutreiben.

Neben diesen beiden allgemeinen Regulatoren giebt es für einzelne Maschinen noch besondere, deren Betrachtung ihrer besonderen Natur wegen nicht hierher gehört; dahin gehören z. B. das Schneckenrad in den älteren Taschenuhren, der Spiralkorb bei gewissen Förderungsmaschinen, der Centrifugalregulator der Dampfmaschinen.

Zu Erhaltung des Beharrungszustandes einer Maschine, besonders auch um Kraftverluste zu vermeiden, dient auch die Vorsicht, welche so viel als möglich Stöße bei den Maschinen vermeidet. Stöße sind immer von einer plötzlichen Geschwindigkeitsänderung entweder des stoßenden, oder des gestoßenen Körpers, oder beider begleitet und nehmen die Festigkeit der Maschinentheile weit mehr in Anspruch als ein gewöhnlicher gleichmäßig wirkender Druck. Mit einem Stoße unelastischer Körper ist aber immer ein Verlust an lebendiger Kraft verbunden, so daß die Stöße so viel als möglich zu beseitigen sind. Bei mangelhaft ausgeführter Verzahnung der Räder, wenn die Zahnköpfe des einen Rades zu viel Spielraum

haben in den Zahnhöhlungen des anderen, treten bei einer Veränderung im Verhältnisse von Kraft und Last leicht Stöße ein, die oft zum Abbrechen einzelner Zähne, immer aber zur Störung im gleichmäßigen Gange der Maschine und zu Verlusten an Kraft führen.

Nicht alle Maschinen haben einen Beharrungszustand, nämlich diejenigen nicht, deren ganze Thätigkeit periodisch vor sich geht, wie z. B. Stampf- und Hammerwerke. Hat man aber zur Verfolgung eines und desselben Zwecks zwischen einer Einrichtung mit gleichmäßiger und einer mit absetzender periodischer Wirkung zu wählen, so ist die erstere immer vorzuziehen. So ist, wenn sonst nicht andere Verhältnisse maßgebend sind, eine Kreissäge einer Säge mit hin und her gehendem Sägegatter, ein Quetsch- und Walzwerk einem Stampf- und Hammerwerke vorzuziehen; denn Maschinen mit continuirlicher Wirksamkeit sind verhältnißmäßig dauerhafter und ökonomischer in Vertheilung und Bewahrung der Kraft.

Sieht man auf den Aggregationszustand der Körper, deren Kräfte auf die Bewegung der Maschine einwirken, oder auf welche die Maschine einwirkt, je nachdem dieselben starr, flüssig oder luftförmig sind, so theilen sich die Maschinen in geomechanische, hydraulische und pneumatische; eine Eintheilung, die weiter keiner Erläuterung bedarf.

Sehr gebräuchlich ist noch die Eintheilung der Theile einer zusammengesetzten Maschine in aufnehmende (Motoren), fortpflanzende (Zwischenmaschinen, Vorgelege) und arbeitende, (Arbeitsmaschinen). Die ersten nehmen die bewegenden Kräfte auf, die anderen leiten sie weiter und setzen sie um und die dritten verrichten die besondere durch die Maschine beabsichtigte Arbeit.

Die aufnehmenden Maschinentheile führen nur uneigentlich den Namen Motoren (Beweger), da nicht sie, sondern die durch sie aufgenommenen Kräfte bewegen. Nach der Natur dieser Kräfte sind sie selbst verschieden. Hierher gehören die Kurbel und ihre Stellvertretungen für die Muskelkraft der Menschen, der Göpel für die Zugkraft der Thiere, die Tretscheibe und das Tretrad, wenn das Gewicht lebender Wesen die bewegende Kraft sein soll, eine Welle mit Seil für Zuggewichte, wie bei den Thurmuhren, Federtrommeln für gespannte Federn, wie bei den Taschenuhren, die Wasserräder für den Druck und den Stoß des Wassers, Dampfcylinder für die Elasticität heißer Wasserdämpfe u. a. m.

Die Zwischenmaschinen sollen nicht blos die von den Motoren aufgenommene Kraft weiterführen, wie z. B. die Wellen und die horizontalen und verticalen Gestänge, damit die aufgenommene Kraft an einem abgelegenen Orte zur Wirksamkeit komme, sondern sie sollen auch die Bewegungen umsetzen, d. h. eine durch die Natur des Motors gegebene Bewegung in eine andere von veränderter Geschwindigkeit oder veränderter Bewegungsart verwandeln. Bewegungsarten unterscheidet man vier, die continuirlich und die periodisch geradlinige, und die continuirliche und die periodische Drehbewegung; jede muß in eine andere derselben Art oder einer anderen Art umgewandelt werden können. Die continuirlich geradlinige Bewegung wird in eine andere umgesetzt durch Leitungsrollen, überhaupt durch Rollen- und Flaschenzüge, durch das Wellenrad mit doppelter Seilführung, durch Walzen. Zur Umwandlung der continuirlich geradlinigen Bewegung in eine continuirliche Drehbewegung und umgekehrt, dient das Seilrad, indem der Endpunkt des Seils eine geradlinige Bewegung annimmt, das Rad mit der Welle aber eine Drehbewegung besitzt, eben so gehört hierher das in

eine Zahnstange eingreifende Stirnrad, so wie die Schraube; letztere dient besonders dazu, eine schnelle Drehbewegung in eine langsame fortschreitende Bewegung umzuwandeln. Zur Umwandlung einer continuirlichen Drehbewegung in eine andere dienen vorzüglich die Zahnräder und die verwandten Riemenscheiben, Frictions- und Keilräder. Soll eine schnelle Drehbewegung in eine recht langsame umgewandelt werden, so leistet die Schraube ohne Ende mit dem Schneckenrad recht gute Dienste. Zur Umwandlung einer continuirlichen Drehbewegung in eine hin und her gehende Drehbewegung oder eine solche geradlinige Bewegung oder umgekehrt wendet man den Krummzapfen mit der Bläuelstange oder das Excentrik mit dem Schubrechen an. So werden von der Schwungradswelle der Dampfmaschine die Steuerschieber hin und her bewegt, und an der Drehbank verwandelt sich so die oscillirende Bewegung des Trittes in die continuirliche des Schwungrades. Auch die Hebedaumen an der Daumenwelle können hierher gerechnet werden. Eine oscillirende Bewegung läßt sich in eine fortgesetzte Drehbewegung umwandeln durch den Schiebehaken, der in die sägeartig gestalteten Zähne eines Rades eingreift, und dieses Rad bei jeder Oscillation um einen Zahn fortstößt. Die Umwandlung einer geradlinig hin und her gehenden Bewegung in eine oscillirende, wie sie am häufigsten bei Dampfmaschinen vorkommt, wo die auf und nieder gehende Bewegung der Kolbenstange die oscillirende des Balanciers hervorbringt, wird am besten durch das Watt'sche Parallelogramm ausgeführt.

Das Gebiet der aufnehmenden und fortpflanzenden Maschinen läßt sich im gewissen Sinne als abgeschlossen bezeichnen; obwohl die hierher gehörenden Vorrichtungen der Verbesserung recht wohl zugänglich sind, auch die Aufstellung des einen oder des anderen neuen Motors vielleicht der Zukunft noch vorbehalten ist, so wird doch dieses Gebiet nach der Art der arbeitenden Naturkräfte und der Art der Bewegungsumwandlung sich einfach gliedern und leicht übersehbar bleiben.

Anders verhält es sich mit den Arbeitsmaschinen. So mannichfach die Wünsche der Menschen sind, stoffliche Dinge nach Gestalt, Lage und Zusammensetzung umgestaltet zu sehen, so mannichfaltig können auch die Arbeitsmaschinen sein. Von den Hammer und Walzwerken und den Schneidemühlen an bis zu den Spinn-, Web-, Näh- und Stickmaschinen und zu den Maschinen für die landwirthschaftlichen Arbeiten und die Umwandlung der Lumpen in Papier, von den einfachen Hebezeugen bis zu den Locomotiven und Dampfschiffen herrscht hier eine unendliche Mannichfaltigkeit, ein unerschöpftes und unerschöpfbares Gebiet für den menschlichen Scharfsinn. So verschieden aber diese Maschinen in ihren arbeitenden Theilen auch sind; so stehen sie doch mit den aufnehmenden und fortpflanzenden Maschinen auf demselben Boden, indem ihnen allen die oben angeführten sechs einfachen Maschinen zum Grunde liegen, und die allgemeinen Gesetze derselben von allen gelten. Erfindungen auf diesem Gebiete werden wohl schwerlich, wie noch so Manche glauben, durch ein hin und her tastendes Probiren gemacht werden, dazu sind die Wege hier schon zu viel betreten, sondern mehr als anderswo bedarf hier der geniale Sinn, der mit Beharrlichkeit das Neue sucht, der Kenntniß des Einzelnen, wenn er seine Anstrengung mit Erfolg gekrönt sehen will. W. S.

Maß (mensura, mesure, measure) heißt jede Größe, die bei der Vergleichung mit einer anderen gleichartigen als Einheit angenommen wird. In

diesem allgemeinen, rein mathematischen Sinne kann von zwei beliebigen Größen derselben Art jede als Maß der andern angesehen werden, denn jede kann auf die andere als ihre Einheit bezogen werden. Die aus der Vergleichung der beiden Größen sich ergebende Verhältnißzahl heißt Maßzahl, diese giebt eine bestimmte Vorstellung von der gemessenen Größe erst dann, wenn die Maßeinheit bekannt ist; soll aber die Maßzahl allein ausreichen, die Größe eines Gegenstandes anzugeben und sollen wiederum verschiedene Messungen unter sich vergleichbar sein, selbst wenn sie an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten vorgenommen werden, so ist das nur dann möglich, wenn die Maßeinheit eine allgemein bekannte und fest bestimmte ist. Daher versteht man unter Maß im engeren Sinne eine durch Uebereinkunft festgestellte und bestimmte Größe, die bei der Vergleichung anderer Größen derselben Art als Einheit angenommen wird.

So viel Arten von Größen es giebt, so viel verschiedene Arten von Maßen muß es geben, denn alles, was groß ist, unterliegt der Vergleichung, dem Messen. Es können die Raumgrößen und die Zeitgrößen, die Massen und Gewichte der Körper, die mechanischen Kräfte wie die physikalischen Zustände, so weit sie quantitativ sind, es können selbst rein subjective Größen, wie die Werthe, die man den Dingen beilegt, gemessen werden. Obwohl nun allen diesen Arten der Messung auch Maße zum Grunde liegen, so versteht man in einer noch weiter gehenden Beschränkung des Begriffs unter Maß vorzugsweise die beim Messen räumlicher Gegenstände conventionell zu Grunde gelegten Einheiten. In dieser Beschränkung wollen wir uns hier näher auf diesen Gegenstand einlassen und daran wegen ihrer inneren Verwandtschaft zu den räumlichen Maßen die Maße für den Druck der Schwere in den materiellen Körpern, oder die Gewichtseinheiten anreihen.

Zwei Eigenthümlichkeiten sind also am Maß hervorzuheben. Erstens seine conventionelle Annahme als Einheit, und zweitens seine genaue Bestimmung und Feststellung. Je weniger in der Natur des Gegenstandes eine Maßeinheit gegeben ist, wie es z. B. bei der Messung der Zeit nach Tagen der Fall ist, desto mehr muß eine solche durch Convention festgestellt werden. Da nun die Convention immer nur diejenige Menschenmenge umfassen wird, die durch ihren Verkehr in die Lage kommen, ein Bedürfniß nach einer Uebereinkunft zu haben, so werden in derselben Zeit in verschiedenen Gegenden verschiedene solcher Uebereinkommen bestehen, verschiedene Maßeinheiten derselben Art vorkommen, und solche verschiedene Maßeinheiten werden in um so größerer Zahl neben einander vorkommen, je mehr die menschliche Gesellschaft in kleinere selbstständigere Gesellschaftskreise zerfällt; je mehr aber der Verkehr wächst, desto mehr wird das Bedürfniß nach Ausgleichung dieser Verschiedenheiten und Herstellung gemeinschaftlicher Maße zunehmen. So hatten noch bis in neuere Zeiten hinein die früher selbstständigen Städte und kleinen Länder Deutschlands und Italiens ihr eigenes Maß- und Gewichtssystem und erst der neueren Zeit ist es mit vieler Mühe gelungen, hierin eine größere Uebereinstimmung anzubahnen.

Die genaue Normirung der Maße ist einerseits eine Folge des erweiterten Verkehrs, der zwischen den verschiedenen Maßeinheiten genaue Vergleichungszahlen verlangte, andererseits aber Folge der fortgeschrittenen Wissenschaft, durch die es erst möglich war, die Größe eines Gegenstandes unabhängig von störenden Ein-

flüssen festzustellen. Da somit die Maße sich abhängig zeigen von den Gestaltungen des Völkerlebens und den Fortschritten der Wissenschaft, so gehören sie selbst der Geschichte an, und es wird hier der Ort sein, auf das Geschichtliche einen übersichtlichen Blick zu werfen.

Die Maße der alten Völker. Ueber die wirkliche Länge der dem Namen nach bekannten Maße der Alten lassen sich nicht überall mit Genauigkeit sichere Angaben machen, da theils Maßeinheiten, die denselben Namen führen, an verschiedenen Orten eine verschiedene Größe hatten, theils auch die Angaben der alten Schriftsteller über gemessene Größen meist nur in runden Zahlen gemacht sind. Die ältesten bekannten Maße sind die ägyptischen, wie es ja auch mehr als wahrscheinlich ist, daß die Cultur der alten historischen Völker ihren Ausgang von Aegypten aus genommen hat. Der griechische Name mehrerer ägyptischer Längenmaße führt auf die Vermuthung, daß die ersten Maße von der Größe einzelner Theile des menschlichen Körpers hergenommen sind. So war die Orgye (von ὀρέγω, ausspannen) eine Länge von 5,69 Fuß Par. und gab die Weite der ausgespannten Arme an, andere Maße waren die Bema oder Schritt, die Pechys oder Elle, der Fuß, die Spithame oder Spanne, die Palme (Handbreite) und der Dactylus (Fingerbreite). Da aber παλάμη auch das Blatt und δάκτυλος die Frucht der Dattelpalme bezeichnet, so hat man auch die Meinung gehegt, daß das Grundmaß von der Dattelfrucht hergenommen sei, indem 6 neben einander gelegte Datteln eine Palme gebildet hätten. Diesen beiden Ansichten steht eine dritte gegenüber, welche behauptet, die Aegypter hätten ihr Grundmaß von einer Meßung eines Meridiangrades hergenommen, französische Gelehrte aus der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts, wie Paucton, Romé de l'Isle, Jomard suchten diese Ansicht zu rechtfertigen. Es soll nämlich die Basisseite der großen Pyramide bei dem ehemaligen Memphis genau der 480ste Theil eines Meridiangrades in Aegypten sein, eben so soll die heilige Elle des Nilmessers der 200000ste und das Stadium zu Laodicea der 500ste Theil eines solchen Meridiangrades sein. Wenn gleich nun den alten Aegyptern ein hoher Grad mathematischer und astronomischer Bildung nicht abgesprochen werden soll, bleibt es doch immer noch sehr fraglich, ob ihre Kenntnisse so weit reichten, einen Meridiangrad mit hinreichender Genauigkeit zu messen; außerdem wird die Thatsache einer solchen Messung nirgends erwähnt.

Die Unterabtheilung der Maße nach der Zahl 12 kommt ebenfalls schon in Aegypten vor und ist von da durch Griechenland und Rom dem Abendlande vermittelt. Der zunächst liegende Grund für diese Eintheilung möchte in ihrer Bequemlichkeit liegen, denn da die 12 als Factoren die Zahlen 2, 3, 4 enthält, so ist mit der Theilung in 12 Theile zugleich die im Geschäftsleben so vielfach vorkommende Halbirung, Drei- und Viertheilung gegeben. Die bei dem neueren französischen Maße zur Anwendung gekommene Eintheilung in 10 Theile ist rein wissenschaftlichen Ursprungs und hat mehr den Anschluß an das einmal gebräuchliche Zahlensystem und die Bequemlichkeit des schriftlichen Rechnens als die Bequemlichkeit des öffentlichen, namentlich des kleinen Verkehrs im Auge. Da, wo die Zwölftheilung sonst noch seit langer Zeit vorkommt, wie in der Eintheilung des Thierkreises in die zwölf Bilder und die Eintheilung der Tageshälfte in zwölf Stunden, liegt vielleicht auch die große Uebersichtlichkeit zu Grunde, die diese Eintheilung gewährt, wenn gleich bei jener astronomischen Eintheilung das

angenäherte Verhältniß des synodischen Monats zum Sonnen-Jahr von Einfluß gewesen sein kann. Der wahre Grund dieser Eintheilungen ist unbekannt. Bei der großen Rolle, welche die Zahl 7 bei ägyptischen Bauwerken spielt, kann es nicht auffallen, wenn die Siebentheilung trotz ihrer Unbequemlichkeit vorkommen sollte. So sollen nun auch nach Girard (Mem. de l'Acad. des Scienc. T. IX. p. 591) alte ägyptische Ellen aufgefunden sein, die sämmtlich in 7 Palmen zu 4 Finger getheilt sind.

Die alten Araber scheinen viele Maße mit den Aegyptern gemein gehabt zu haben. Als Grundmaß wird die Ausdehnung von 6 neben einander gelegten getrockneten Gerstenkörnern angeführt, welche Ausdehnung 27 mal genommen, die Länge der Elle gegeben haben soll. Die Griechen haben ihre Maße größtentheils den Aegyptern entlehnt, die Römer hatten jedoch, als sie mit den östlichen Culturvölkern in Berührung kamen, schon ihr ausgebildetes Maßsystem, an welches sich erst später die fremden Maße anschlossen. Dem besonders auf die sorgfältige Entwickelung und Pflege aller Rechtsverhältnisse zugewandten Sinne der Römer entspricht auch die Sorgfalt, die sie auf Beibehaltung der genauen Länge ihrer Maße gerichtet haben. Deshalb ist es auch möglich gewesen, die Länge des römischen Fußes mit großer Genauigkeit wieder aufzufinden. Auf dem Capitol finden sich noch 4 Etalons, die im Mittel für den römischen Fuß die Länge von 0,2959 Meter oder 131,14 Par. Linien geben, hiermit stimmt auch das Resultat aus der Messung noch vorhandener römischer Meilen, auch der auf dem Grabe des Statillus eingehauene Fuß hat genau diese Länge. Sechs in Herculanum aufgefundene Etalons geben aber im Mittel nur die Länge 0,2945 Meter.

Die Wiederauffindung der alten Gewichte ist der Natur des Gegenstandes nach mit viel größeren Schwierigkeiten verknüpft, als es mit der Feststellung der alten Maße der Fall gewesen ist. Am einfachsten würde man die Gewichte aus den alten Münzen ableiten können, wenn nicht in den älteren Zeiten das Gewicht der Münzen sehr veränderlich gewesen wäre, so daß die Münzen meistens weniger Metall enthielten, als sie hätten enthalten müssen. Deshalb sind die aufgestellten Vergleichszahlen hier auch weniger sicher, als bei den Raummaßen.

Die wichtigsten älteren Maße und Gewichte wollen wir in nachfolgender Uebersicht zusammenstellen.

1) Aegypten:

a) Längenmaße. 1 Orgyie = 2²/₃ Bema (Schritt) = 4 Pechys (Elle) = 6 Fuß = 8 Spithamen (Spanne) = 12 Dichas = 24 Palmen (Handbreite) = 96 Dactylus (Fingerbreite). — 1 Acäna (Ruthe) = 10 Fuß, 1 Plethrum = 10 Ruthen, 1 Stadium = 6 Plethra = 60 Ruthen, 1 Meile = 3000 Ellen, 1 Parasange (ursprünglich persisch) = 4 Meilen, 1 großer Schönus = 8 Meilen = 24000 Ellen. Der gewöhnliche Schönus war etwas größer als die Parasange.

Vergleichung: 1 Orgyie = 1,847 Meter frz.

b) Flächenmaße. 1 Arura = 10000 Quadrat-Ellen; 1 Stadium = 100 Schönus = 10000 Ruthen.

2) Palästina. 1 Ruthe (Kaneh) = 3 Schritt (Bema, Pesiah) = 6 Ellen = 9 Fuß (Seraïm) = 36 Palmen = 72 Doppelzoll (Sitah) = 144 Zoll (Ezbah).

1 Meile (Sabbathsweg, Kiberath) = 1000 Schritt (= $7\frac{1}{2}$ ägyptische Stadien); 1 Tagereise (= 200 ägypt. Stadien) = $26\frac{2}{3}$ Meilen.

Vergleichung: 1 Schritt = 1,108 Meter.

3) *Griechenland*:

a) *Längenmaße*. 1 Elle (Pechys) = $1\frac{1}{2}$ Fuß = 2 Spithamen = 3 Dichas = 6 Palmen = 12 Zoll (Kondylos) = 24 Dactylos.

Vergleichung: 1 Elle = 1 ägyptische Elle = 0,4618 Meter.

Stadien a) das der Ptolemäer = 221,67 Meter, b) das des Cleomenes = 166,25 M., c) das des Eratosthenes und Hipparch = $\frac{1}{700}$ Erdgrad = 158,33 M., d) das asiatische = 147,78 Meter, e) das des Archimedes (400 mal im Umfange von Babylon enthalten) = 133 Meter, f) das kleine ägyptische, am häufigsten gebraucht, = 99,75 Meter, g) das philetärische oder königliche = 600 philetärischen Fußen = 210,14 Meter.

1 Dolichus = 12 Stadien = 2216,66 Meter.

b) *Flächenmaße*. Zum Ausmessen der Flächen gebrauchte man das Plethrum = 100 gr. Fuß, das Sokarion, für Wiesengrund = 72, für Ackergrund = 60 gr. Fuß und den Dekapus = 10 gr. Fuß.

c) *Hohlmaße*. Für trockne Sachen: 1 Medimne = $1\frac{1}{3}$ Metreta = 6 Hekteen = 12 Hemihekteen = 48 Chönix = 96 Xestes.

Vergleichung: 1 Medimne = 2268 franz. Kubik-Zoll.

Für Flüssigkeiten: 1 Kadus oder Diota (für 90 Pfund Flüssigkeit) = 2 Amphoren (Chus, röm. Congins). 1 Xestes oder Sextarius (für 1 Pfund 3 Unzen Flüssigkeit) = 2 Kotylen = 4 Viertel = 8 Oxybaphien = 12 Becher (Kyathos) = 24 Konchen = 48 Löffel (Mystren) = 60 Chemen.

d) *Gewichte*. 1 Talent = 60 Minen, 1 Mine = 100 Drachmen, 1 Drachme = 6 Obolen = 36 Chalken.

Vergleichung. Das Talent a) das attische, korinthische = 54 Pfund 11 Unzen franz. Gr., b) das kleine attische = 41 Pfund 2 gros, c) das äginetische = 91 Pfd. 2 U. 2 gros 48 gns., d) das alexandrinische = 82 Pfd. 4 gr., e) das von Rhegium = 68 Pfd. 5 Unz. 6 gros, f) das italienische = 65 Pfd. 10 Unz., g) das babylonische = 47 Pfd. 13 Unz. 5 gros, h) das ägyptische oder rhodische = 27 Pfd. 5 Unz. 4 gr., i) das syrische oder ptolemäische = 13 Pfd. 10 Unz. 6 gros.

Ferner kommen vor: 1 Gramm oder Skrupel = 3 Lupinen = 6 Siliquen = $\frac{1}{24}$ römische Unze.

4) *Rom*.

a) *Längenmaße*. 1 Fuß = 4 Palmen = 12 Zoll = 16 Finger (Digitus).
1 Meile = 1000 Schritt = 5000 Fuß.
1 Elle = $1\frac{1}{2}$ Fuß, 1 Palmipes (Fuß und Handbreite) = $1\frac{1}{4}$ Fuß.
1 Ruthe (Pertica) = 10 Fuß.
1 Reise (iter pedestre) = $18\frac{3}{4}$ röm. Meilen.

Vergleichung: 1 Fuß = 0,2959 Meter.

b) *Flächenmaße*. 1 Juchert (jugerum) = 28800 röm. Quadratfuß.

c) Hohlmaße. Für trockne Sachen: 1 Modius (Scheffel) = 16 Sextarien (Scheffel) = 432 Par. Kubikzoll.
Für Flüssigkeiten: 1 Culeus (Fuder) = 20 Amphoren (Eimer). 1 Amphora (= 1 röm. Kubikfuß) = 2 Urnen = 8 Conglen = 48 Sextarien; 1 Sextarius = 2 Hälften (Hemina) = 4 Viertel = 8 Acetabula = 12 Becher = 48 Löffel (Ligula).
Vergleichung: 1 Amphore = 1296 Par. Kubikzoll.

d) Gewichte. 1 Talent oder Centumpondium = 100 röm. Pfund.
1 As (Libra, Pfund) = 12 Unzen = 48 Denare = 288 Skrupel, 1 Skrupel = 3 Luginen = 6 Siliquen. Außerdem kommen vor: Deunx = 11 Unzen, Decuncis = 10 Unzen, Dodrans = 9 Unzen, Bes (bis triens) = 8 Unzen, Septunx = 7 Unzen, Semis = 6 Unzen, Quincunx = 5 Unzen, Triens = $^1/_3$ As = 4 Unzen, Quadrans = = 3 Unzen, Sextanz = 2 Unzen.
Vergleichung: 1 As = 10 Unzen 4 gros franz. Gew.

Neuere Maße. Bei den meisten neueren Völkern ist der Fuß die Grundlage für ihre Längenmaße gewesen, ob diese Bezeichnungen sich von den alten Völkern auf die neueren übertragen hat, oder nicht, mag dahingestellt bleiben, da es recht wohl denkbar ist, daß mehrere Völker ursprünglich auf diese Annahme haben kommen können. Thatsache ist aber, daß nicht nur zwischen verschiedenen Ländern, ja sogar zwischen verschiedenen Städten ein Unterschied in der Größe ihrer Maßeinheit bestanden hat, sondern daß die Fußlänge an demselben Orte im Laufe der Zeit Schwankungen unterworfen gewesen ist. Wenn nun in Folge des Verkehrs das Bedürfniß nach einem gemeinschaftlichen Maße eintrat, mindestens aber nach fester Normirung des bereits vorhandenen, so lag der Wunsch nahe, die Maßeinheit so festzustellen, daß sie immer von neuem könnte wieder hergestellt werden, wenn sie etwa verloren gehen sollte. Zu dem Ende mußte man auf der Erde eine unveränderliche Länge suchen, um von ihr die Maßeinheit abzuleiten. Als solche unveränderliche Länge schlug Huyghens im Jahr 1664 die Länge des einfachen Secundenpendels vor, nachdem von ihm selbst zuvor erst die Theorie des Pendels aufgestellt war; da nun das einfache Secundenpendel etwas über 3 Par. Fuß lang ist, so sollte von jener Pendellänge der dritte Theil genommen und Fundamental-Fuß oder Zeitfuß genannt werden. Dieser Vorschlag, der so naheliegend war und so einfach die Aufgabe löste, wurde von den damaligen Physikern willig aufgenommen, obwohl man anfangs noch nicht wußte, daß das einfache Secundenpendel nicht überall auf der Erde dieselbe Länge hat; als aber auch Richer's Beobachtungen in Cayenne bekannt wurden, aus denen folgte, daß die Länge des einfachen Secundenpendels nach der geographischen Breite verschieden ist, behielt doch Huyghens Vorschlag seine praktische Bedeutung, man hatte nur nöthig einen bestimmten Breitengrad der Erde zu nehmen, etwa den 45sten oder den Aequator selbst, und auf diesen die Länge des als Normalmaß dienenden Secundenpendels zu reduciren Nach Bouguer beträgt auf dem Aequator die Länge des einfachen Secundenpendels 439,21 Par. Linien, hiernach würde denn die Länge des Fundamentalfußes 146,40 Par. Linien betragen haben. Dieser Fundamentalfuß ist zwar nicht zur allgemeinen Anwendung gekommen, doch ist man in England wiederholt bei der Fixirung der landesüblichen Maße auf die Länge des einfachen Secundenpendels vergleichend zurückgegangen.

Eine zweite unveränderliche Größe, von welcher die Maßeinheit abgeleitet werden konnte, ist die Erde selbst. Den ersten Vorschlag, die Länge der Maßeinheit von der Länge des Meridians abzuleiten, machte der Astronom Gabriel Mouton in Lyon, ein Zeitgenosse des Huyghens. Die Einheit sollte die Länge eines Meridianbogens von einer Minute sein und Meile (milliare) genannt werden, die Unterabtheilungen sollten nach der Zehntheilung gebildet werden und lateinische Namen führen. Damals war die elliptische Gestalt der Erde noch nicht bekannt, und es schien also die Messung irgend eines beliebigen Meridiangrades ausreichend, um jenes Grundmaß zu finden. Mouton's Vorschlag blieb aber über hundert Jahr unbeachtet, bis in Frankreich das Bedürfniß einer allgemeinen Landesvermessung auf die Regulirung des Maßsystems die Aufmerksamkeit lenkte. Bei der im Jahre 1789 stattgefundenen französischen Deputirtenwahl hatten mehrere französische Städte, darunter Paris, Lyon, Orleans, Rheims u. a. auf Herstellung eines allgemeinen Maßes petitionirt. Talleyrand-Perigord brachte 1790 diese Petitionen vor die Nationalversammlung, und diese beschloß, den König zu bitten, daß er in Gemeinschaft mit dem König von England durch Commissarien der französischen Akademie und der königlichen Societät zu London unter dem 45sten Grad nördlicher Breite oder sonst wo die Länge des einfachen Secundenpendels bestimmen lasse, um diese Länge einem unveränderlichen Maßsysteme zu Grunde zu legen. Zugleich wurde von der Akademie ein Gutachten gefordert, welches im März 1791 durch die dazu ernannten Commissarien De Borda, La Grange, La Place, Mange und Condorcet überreicht wurde. Dieses Gutachten verwarf die Zugrundelegung des einfachen Secundenpendels für den gedachten Zweck, weil dasselbe bedingt sei einerseits durch die Zeit, andererseits durch die willkürliche Eintheilung derselben in Secunden, zugleich sei es unnatürlich die Maßeinheit von der kurzen Pendellänge herzunehmen, da man doch auf der Erde Entfernungen im Großen zu messen habe. Das Gutachten schlug nun vor, das Normalmaß von einem Erdquadranten herzunehmen. Der Meridianquadrant sei dem Aequatorquadranten vorzuziehen, weil die Meridiangrade sich viel leichter und sicherer messen ließen als die Aequatorialgrade, und weil auch jeder Erdbewohner unter einem Meridian wohne. Man solle daher einen Meridianbogen von Dünkirchen bis Barcellona messen, daraus die Länge des Meridianquadranten berechnen und den zehnmillionensten Theil davon als Einheit nehmen. Die Unterabtheilungen sollten nun nach der Dekadik genommen werden, weil alle anderen Eintheilungen willkürlich wären. Die Gewichtseinheit könne aus dem Gewichte eines bestimmten Volumens Wasser entweder von der Temperatur des aufthauenden Eises oder von der größten Dichtigkeit abgeleitet werden. Die Anträge dieses Gutachtens wurden angenommen, die gleichzeitig empfohlenen Pendelbeobachtungen wurden im Juni 1792 von Cassini und De Borda und die Gradmessungen von Mechain und Delambre begonnen. Die im Laufe der Revolution eingetretene Auflösung der Akademie unterbrach zwar diese Arbeiten, doch wurde ihre Fortsetzung wieder auf Grund besonderer Gesetze aufgenommen, thätig waren dabei Berthollet, Borda, Brisson, Coulomb, Delambre, Hauy, Lagrange, Laplace, Mechain, Mange, Prony und Vandremonde. Da die genaue Ausführung der Arbeit voraussichtlich längere Zeit in Anspruch nehmen mußte, so wurde am 18. Germinal des Jahres III die Länge des Meters als der zehnmillionenste Theil des Meridianquadranten vor-

läufig zu 443,443 Par. Linien durch Gesetz angenommen. Aus der Gesammtheit der Messungen selbst berechnete Van Swinden die wirkliche Länge des Meters zu 443,2959942 bis 443,296 Par. Linien, dagegen fielen die Resultate der Rechnung Delambre's um 0,032 Linien größer aus, durch Decret vom 19. Frimaire des Jahres VIII wurde jener kleinere Werth angenommen und bestimmt, daß das Meter die Länge einer Metallstange haben solle, die bei 0° C. nach dem altfranzösischen Maße 443,296 Linien messe. Zur Bezeichnung der Vielfachen und der Unterabtheilungen des Meters wurde ebenfalls nach Van Swindens Vorschlag angenommen, die Vielfachen des Meters durch Vorsetzung griechischer Zahlwörter und die Unterabtheilungen durch Vorsetzung lateinischer Zahlwörter zu bezeichnen. Demnach bedeutet Myriameter 10000 Meter, eben so bedeuten Kilometer, Hektometer, Dekameter bezüglich 1000, 100 und 10 Meter und Decimeter, Centimeter, Millimeter bedeuten bezüglich $^1/_{10}$, $^1/_{100}$ und $^1/_{1000}$ Meter.

Für die Gewichte wurde als Einheit angenommen das Gewicht von einem Kubik-Decimeter destillirtem Wasser bei 4° C., der Temperatur seiner größten Dichte, und reducirt auf den luftleeren Raum. Dieses Gewicht betrug nach dem älteren Gewichte 2 Pfund 5 gros 35 grains und erhielt den Namen Kilogramm, die dekadischen Unterabtheilungen mußten also Hektogramm, Dekagramm, Gramm, Decigramm u. s. f. heißen. Das Volumen eines Kilogramms Wasser, also ein Kubikdecimeter, erhielt als Hohlmaß den besonderen Namen Litre. Von diesem Namen leiten sich nun in der bekannten Weise andere ab, wie Deka-, Hekto-Kilolitre, Deci-, Centi-, Milliliter. Beim Ausmessen des Holzes gebraucht man noch den Ausdruck Stère, gleichbedeutend mit einem Kubikmeter. Flächenräume werden einfach gemessen durch die Anzahl der Quadratmeter, die sie enthalten, oder der Quadratdecimeter u. s. f., nur als Ackermaß kommt die Einheit Are vor und bedeutet 100 Quadratmeter, eine Hektare bedeutet dann 100 Aren.

Am Schluß der hierher gehörenden Arbeiten wurden die aufs genaueste gearbeiteten Normalmaße durch eine Commission, an deren Spitze Laplace stand, im Archiv der Republik niedergelegt. Dazu gehörte zuerst ein Meter von Platin (étalon primitif) und ein Kilogramm von Platin, dann noch zwei Meter von Stahl, an den Enden von Messing und ein Kilogramm von Messing. Diese Grundmaße sollten mit der größten Sorgfalt aufbewahrt werden und nur in außerordentlichen Fällen zur Vergleichung benutzt werden. Außerdem wurde aber noch ein genaues Meter von Platin und ein Kilogramm von Platin auf der Sternwarte niedergelegt, um in den gewöhnlichen Fällen zur Vergleichung benutzt zu werden.

So großartig nun auch das eben beschriebene Unternehmen gewesen ist, und so glänzend es durchgeführt wurde, so scheint doch die Ehre, welche die Wissenschaft dabei davongetragen hat, größer zu sein als der praktische Nutzen, der dadurch erreicht wurde. Es wird immer mißlich erscheinen, wenn ein bestehendes Maßsystem vollständig beseitigt und dafür ein ganz neues an die Stelle gesetzt werden soll, namentlich wenn dazu kommt, daß das neue System wohl wissenschaftliche Vorzüge, aber praktische Nachtheile hat. Zu den letzteren möchten wir die dekadische Eintheilung rechnen. Dem täglichen Bedürfnisse entspricht eine wiederholte Eintheilung nach der 2 und eine Eintheilung nach der 3 viel mehr als eine Eintheilung nach der 10, bei welcher sich Drittel und Viertel einer höheren Einheit

nicht durch eine ganze Anzahl der unteren Einheiten, wenigstens (bei der 4) nicht der nächst unteren Einheit darstellen lassen. Die Einführung des neuen Maßsystems fällt in Frankreich in die Zeit der ersten Revolution, durch welche fast alle Verhältnisse umgestaltet wurden, aber dennoch hat das alte Maßsystem nicht ganz verdrängt werden können, vielmehr findet sich jetzt noch dort eine Vorliebe, die alten Maße anzuwenden, wo nicht geradezu das Gesetz anders befiehlt.

Dem altfranzösischen Längenmaß lag die Toise von 6 Fuß, auch Toise von Peru genannt, zum Grunde, der Fuß = $^1/_6$ Toise, auch königlicher Fuß (pied du roi) genannt, wurde in 12 Zoll, der Zoll in 12 Linien getheilt. Als Normalgewicht diente die pile de Charlemagne, abstammend vom König Johann aus dem 14. Jahrhundert; dieses Pfund zerfiel in 16 Unzen, die Unze in 8 gros, das gros in 72 grains, deren 18827,5 ein Kilogramm bilden. Um die schwer zu verdrängenden alten Maßnamen mit den neuen Maßen in Einklang zu bringen, wurde durch Decret vom 12. Febr. 1812 der Gebrauch einiger alter Maße, nachdem sie dem neuen Systeme angepaßt waren, erlaubt, doch mußte auf den Etalons ihr Verhältniß zum Metermaße angegeben sein. Hiernach ist die neue Toise eine Länge von 2 Meter, in 6 Fuß getheilt, der Fuß hat also 333$^1/_3$ Millimeter oder 147,765 Linien altes Maß, auch dieser Fuß ist in 12 Zoll zu 12 Linien getheilt, die Elle (aune) enthält 12 Decimeter und ist in Halbe, Viertel, Achtel, Sechzehntel oder in Drittel, Sechstel, Zwölftel getheilt. Der Boisseau, ein altes Fruchtmaß und 13,00829 Litre enthaltend, wurde nun zu 12,5 Litre festgestellt und in 2, 4, 8 Theile getheilt, auch wurde gestattet, das Litre in 2, 4, 8, 16 Theile zu theilen. Das Pfund sollte ein halbes Kilogramm, d. h. 500 Gramme sein und behielt seine alte Eintheilung in 16 Unzen zu 8 gros zu 72 grains; da dieses Gewicht sich von dem alten nur um ein Geringes unterschied, so wurde es auch als Apothekergewicht gebraucht, während das Grammgewicht nicht in die Officinen der Apotheker eingeführt werden konnte.

In England ist man schon sehr frühe darauf bedacht gewesen, Maß und Gewicht festzustellen. Schon Heinrich I. befahl im Jahre 1101, daß die Elle (angels. gyrd oder girth) die Länge seines Armes bis zur Spitze des Mittelfingers habe. Diese Elle, die dem heutigen Yard entspricht, wurden in 3 Fuß, jeder Fuß in 12 Zolle getheilt. Das älteste, noch erhaltene Normalmaß rührt von der Königin Elisabeth her, die es im Jahr 1588 in der Schatzkammer zu Westminster niederlegen ließ. Das älteste englische Gewicht wurde nach Weizenkörnern bestimmt. Nach einer Verordnung vom Jahre 1266 sollten 32 Weizenkörner aus der Mitte der Aehre genommen und wohlgetrocknet das Gewicht eines Penny geben, 20 solcher Gewichte sollten 1 Unze und 12 Unzen ein Pfund betragen. Dieses Gewicht wurde durch Heinrich VII. abgeändert und ein anderes Gewicht, das Troy-Gewicht eingeführt, welches seither als Reichsgewicht besteht. Das Pfund dieses Gewichtes (libra, Pfund) zerfällt in 12 Unzen (ounzes, abgek. oz), die Unze in 20 Pennygewichte (pennyweight, dwt) und das dwt in 24 grains (Körner). Das Pfund Troy-Gewicht hat also 5760 grains. Hierzu kam unter Heinrich VIII. noch ein anderes Gewicht, das Avoir du poids-Gewicht; zwar anfangs nur für den Gebrauch der Metzger bestimmt, breitete es sich doch immer mehr aus und wurde zuletzt das eigentliche Handelsgewicht der Engländer. Das Pfund des Avoir du poids-Gewicht hat das Gewicht von 7000 grains des Troy-Gewichts, wird aber für sich in 16 Unzen, jede zu 16 Drachmen eingetheilt.

Von diesem Gewicht wurde ein Pfundstück aus Glockenspeise ebenfalls im Jahre 1588 von der Königin Elisabeth in der Schatzkammer niedergelegt.

Von den in der Schatzkammer befindlichen Maßoriginalen waren genaue Kopien angefertigt und an solche überlassen, welche Privilegien hatten, Maße anzufertigen und zu verkaufen. Inzwischen hatten sich doch Verschiedenheiten eingeschlichen und selbst die an verschiedenen Orten befindlichen Normalmaße (Standards) zeigten sich nicht übereinstimmend. Als die königliche Societät, wie schon früher mehrere Mal, so auch im Jahre 1798 die Normalmaße vergleichen ließ, ergab sich, daß das Yard der Königin Elisabeth, das im Unterhause niedergelegte, das im Tower befindliche und das der königlichen Societät mit einander nicht übereinstimmten, wenn auch der größte Unterschied zwischen ihnen nur 0,008 Zoll betrug. Die hieraus hervorgehende Unsicherheit wurde erst vollständig beigelegt durch den Parlamentsbeschluß vom 17. Juni 1824, durch welchen das Verhältniß des Yard zu dem einfachen Secundenpendel in London festgestellt wurde. Das Yard soll demnach eine Länge haben, daß das einfache Secundenpendel in der Breite von London auf den Meeresspiegel und den luftleeren Raum reducirt bei 62° F. eine Länge von 39,1393 engl. Zoll haben muß. Das Original-Mustermaß befindet sich im Hause der Gemeinen, führt den Namen Imperial Standard Yard, und auf demselben stehen die Worte Standard Yard 1760. Wird mit diesem Yard das Meter verglichen, so hat das Meter eine Länge von 39,37079 Zoll, wenn beide auf ihre Normaltemperaturen reducirt sind, nämlich das französische auf 0° und das englische auf 62° F. = $16^2/_3$ C.

Bei der Fixirung der englischen Gewichte im Jahre 1758 wurde ein im Tower vorgefundenes Pfund Troy-Gewicht zu Grunde gelegt. Mit dem neueren französischen Gewichte verglichen wiegt das Troy-Pfund 373,243 Gramme, darnach kommen auf das Avoir du poids-Pfund 453,594 Gramme.

Vergleicht man ferner das englische Längenmaß mit dem Gewichte, so erhält man, daß 1 Kubikzoll Wasser von 62° F. und auf den leeren Raum reducirt ein Gewicht von 252,722 grains hat.

In den österreichischen Erbstaaten bestanden schon seit längerer Zeit Musterstücke für Maß und Gewicht. Nach Herstellung des französischen Maßsystems wurde eine genaue Vergleichung der österreichischen Maße mit den französischen vorgenommen. In Preußen ist erst im Jahre 1816 eine allgemeine Maß- und Gewichtsordnung für den ganzen Staat eingeführt; die Normalmaße sind genau geprüft, mit den französischen sorgfältig verglichen und bei der mathematik-physikalischen Classe der Akademie niedergelegt worden. Zwischen dem preußischen Gewicht und dem preußischen Längenmaße bestand bisher ein natürliches Verhältniß. Das preußische Pfund ist nämlich genau der 66ste Theil von dem Gewicht eines Kubikfußes Wasser von 15° R. Gegenwärtig (1856) steht aber die Abänderung des preußischen Gewichtssystems bevor, an die Stelle des bisherigen Pfundes soll das Zollpfund (= $^1/_2$ Kilogramm) treten, welches bisher im Zollverkehr des Zollvereins gebräuchlich gewesen ist, hiermit soll zugleich eine abgeänderte Eintheilung der Gewichtseinheiten verbunden werden. 100 Pfund werden 1 Centner, 40 Ctnr. aber 1 Schiffslast bilden, das Pfund zerfällt dann in 30 Loth, das Loth in 10 Quentchen, das Quentchen in 10 Cent, dieses in 10 Korn.

Auch die meisten übrigen Staaten haben seither ihre Maße und Gewichte mit den französischen verglichen, um sie dadurch zu normiren; andere, wie die Niederlande, haben unter verändertem Namen das Metermaß, und wieder andere, wie Baden und das Großherzogthum Hessen, haben unter Beibehaltung der ursprünglichen Namen ihre Maße abgeändert und in ein einfaches Verhältniß zum Metermaße gebracht.

Zweier Gewichte müssen wir hier noch Erwähnung thun, die einerseits nur für besondere Geschäftskreise gebräuchlich sind, andererseits aber sich nicht auf einzelne Landesgebiete beschränken. Es sind das Apothekergewicht und das Münzgewicht.

Das Apothekergewicht gilt nicht blos in Deutschland, sondern noch in anderen europäischen Ländern und hat überall dieselbe Eintheilung. Das Pfund (℔) zerfällt in 12 Unzen (℥), die Unze in 8 Drachmen (ʒ), die Drachme in 3 Skrupel (℈) und das Skrupel in 20 Gran (gr.). Als Normalgewicht dient hierfür das Nürnberger Silbergewicht, doch besteht keine officielle Festsetzung dieses Gewichtes. Eytelwein fand durch Vergleichung eines vom Nürnberger Magistrate erhaltenen Normalpfundes die Größe desselben zu 357,56686 franz. Grammen, dagegen fand Hauschild dafür 357,854 Grammen.

Als Grundlage für das Münzgewicht dient die sogenannte Kölnische Mark, oder auch Augsburger Mark genannt. Sie wird in 16 Loth, das Loth in 4 Quint, das Quint in 4 Pfennige und der Pfennig in 256 Richtpfennige getheilt. Die Mark enthält also 65536 Richtpfennige. Als in neuerer Zeit das Gewicht der Kölnischen Mark festgestellt werden sollte, ergab sich, daß nirgends ein hinreichend verbürgtes genaues Normalgewicht vorhanden war. Die in den einzelnen Münzstätten gebrauchten Hauptgewichte haben alle geringe Abweichungen von einander, so daß sich nicht sagen läßt, wie groß eigentlich die Kölnische Mark sei. So wiegt die Berliner Münzmark 233,8555 Gramme, die Wiener 233,887 Gr., die Dresdner 235,734 Gr.

Im Nachfolgenden wollen wir zunächst eine Uebersicht der in den einzelnen Ländern bestehenden Eintheilungen geben, sodann aber einige Tafeln zur Vergleichung der hauptsächlichsten Maße und Gewichte anreihen.

I. Uebersicht der bestehenden Maßeintheilungen.

1. Frankreich.

A. Alte Maße.

a) Längenmaße.

1 Toise (von Peru) = 6 Fuß (pied du roi); 1 Fuß = 12 Zoll = 144 Linien.
1 Elle (aune) = 526$^3/_8$ Linien; die Krämer-Elle (Pariser Stab) = 524 Linien.
1 Meile (lieue) = 13704,4 Fuß, 1 Seemeile = 17130,5 Fuß.

Flächenmaße*)

Perche des eaux et forêts = 484 Quadrat-Fuß, Arpens des eaux et forêts = 100 Perches, Perche de Paris = 324 Q.-Fuß, Arpent de Paris = 100 Perches de Paris.

---

*) Es sind hier nur die besonderen Flächen- und Körpermaße angeführt, die allgemeinen, die aus den Längenmaßen mit dem Zusatz „Quadrat"- und „Kubik"- abgeleitet werden, sind als sich selbst erklärend hier nicht angegeben.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. 1 Muid (Tonne) = 12 Setiers, 1 Setier = 4 Minots = 12 Boisseaux, (für Salz war 1 Setier = 16 Boisseaux, für Hafer 1 S. = 24 B. und für Steinkohle 1 S. = 32 B.); 1 Boisseau = 655,78 Kubikzoll.

Für Flüssigkeiten. 1 Muid (Tonne) = 2 Feuillettes = 4 Quartauts = 36 Setiers, 1 S. = 8 Pinten, 1 Pinte = 48 Kubikzoll (gesetzlich, factisch aber 46,95 Kubikzoll).

d) Gewichte.

1 Centner (Quintal) = 100 Pfund (Livre poid du marc, pile du Charlemagne), 1 Pfd. = 16 Unzen (Onces), 1 Unze = 8 gros, 1 gros = 72 grains.

B. Neue Maße.

a) Längenmaße.

1 Myriameter = 10 Kilometer = 100 Hektometer = 1000 Dekameter = 10000 Meter; 1 Meter = 10 Decimeter = 100 Centimeter = 1000 Millimeter.

b) Flächenmaße.

1 Are = 100 Quadratmeter, 1 Hektare = 100 Aren.

c) Körpermaße.

1 Liter = 1 Kubikdecimeter, 1 Kiloliter = 10 Hektoliter = 100 Dekaliter = 1000 Liter; 1 Liter = 10 Deciliter = 100 Centiliter = 1000 Milliliter.

Beim Holzmessen. 1 Stere = 1 Kubikmeter, 1 Kilostere = 1000 Steren.

d) Gewichte.

1 Kilogramm = 10 Hektogramm = 100 Dekagramm = 1000 Gramm.
1 Gramm = 10 Decigramm = 100 Centigramm = 1000 Milligramm.
1 Quintalmetrique = 100 Kilogramm, 1 Millier = 1000 Kilogramm.

2. England.

a) Längenmaße.

1 Yard = 2 Kubits = 3 Fuß (foot, pl. feet).
1 Fuß (foot) = $1^1/_3$ spans = 4 palms = 12 Zoll.
1 gunterslink = 2,64 palms.
1 fathom = 1,2 paces = 6 feet.
1 Meile (mile) = 8 furlongs = 80 gunterschain = 320 poles (rods) = 1760 yards.

b) Flächenmaße.

1 acre = 4 roods of land = 160 Quadrat-Rods = 4840 Quadrat-Yards.

A. Aeltere Hohlmaße.

Für trockne Dinge, die nicht gehäuft, sondern mit dem Streichholz gestrichen werden.
1 Last = 2 wey = 10 quarters = 20 cooms = 80 bushels.
1 bushel = 4 peck = 8 gallons.
1 gallon = 8 pints = 268,8 Kubikzoll.
Für trockne Dinge, die gehäuft werden. 1 chaldron = 12 sacks = 36 bushels.
Für Bier. 1 butt = $1^1/_3$ puncheon = 2 hogshead = 3 barrels (= 6 kilderkin = 12 firkin) = 108 Gallonen.
1 Gallon = 4 Quarts = 8 pints = 282 Kubikzoll.
Für Wein. 1 tun (Tonne) = 2 pipes = 3 puncheon = 4 hogshead = 6 tierces = 252 gallons.
1 Gallon = 4 Quarts = 8 Pinten = 231 Kubikzoll; 1 Anker = 10 gallons.

B. Neuere Hohlmaße.

Für Flüssigkeiten und gestrichene trockne Dinge.
1 quarter = 8 bushels = 32 pecks = 64 gallons.
1 gallon = 4 quarts = 8 pints = 277,274 Kubikzoll.
Für trockne, gehäufte Sachen.
1 chaldron = 12 sacks = 36 bushels; 1 bushel = 2815,219 Kubikzoll.

d) Gewichte.

1 imperial Troy pound (℔) = 12 ounzes (oz) = 240 pennyweight (dwt) = 5760 grains.
1 pound avoir du poid = 16 ounzes = 256 drams (Drachmen) = 7000 grains.
1 ton = 20 hundredweight (Cwt) = 80 quarters = 2240 pounds a. d. p.

3. Oesterreich.

a) Längenmaße.

1 Fuß = 12 Zoll = 144 Linien = 1728 Skrupel oder Punkte.
1 Klafter = 6 Fuß, 1 Elle = 2,465 Fuß.
1 Faust (Pferdemaß) = 4 Zoll, 1 Strich (Rekrutenmaß) = 3 Linien.

b) Flächenmaß.

1 Joch = 1600 Quadratklafter.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. 1 Muth = 30 Metzen.
1 Metze = 8 Achtel = 32 Mäßeln = 128 Becher = 3364,59 Kubikzoll.
Für Flüssigkeiten. 1 Dreiling = 3 Fuß = 30 Eimer = 120 Maß (Kannen) = 480 Seitel.
1 Maß = 77,4144 Kubikzoll.

d) Gewichte.

1 Centner = 100 Pfund, 1 Pfund = 32 Loth, 1 Lth. = 4 Quentchen = 16 Sechzehntel.

4. Preußen.

a) Längenmaße.

1 Ruthe = 12 Fuß = 144 Zoll = 1728 Linien. 1 Elle = 25,5 Zoll.
1 Meile = 2000 Ruthen = 24000 Fuß.
Beim Seewesen: 1 Faden = 6 Fuß.
Beim Bergbau: 1 Lachter = 8 Achtel = 80 Lachterzoll = 8000 Primen = 80000 Secunden. 1 Lachterzoll = 1 Zoll.

b) Flächenmaße.

1 Morgen (für Land) = 180 Quadratruthen.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. 1 Wispel = 6 Tonnen = 24 Scheffel.
1 Scheffel = 16 Metzen = 48 Quart = 3072 Kubikzoll.
Für Holz. 1 Klafter = 108 Kubikfuß.
Für Flüssigkeiten. 1 Orhoft = 1,5 Ohm = 3 Eimer = 6 Anker = 180 Quart (Weinmaß).
1 Kufe = 2 Faß = 4 Tonnen = 400 Quart (Biermaß). 1 Quart = 64 Kubikzoll.

d) Gewichte (bisher).

1 Centner = 110 Pfund, 1 Pfund = 32 Loth, 1 Loth = 4 Quentchen.
1 Schiffslast = 4000 Pfund.
Neues Gewicht. 1 Schiffslast = 40 Centner, 1 Centner = 100 Pfund, 1 Pfd. = 30 Loth, 1 Loth = 10 Quentchen, 1 Quentchen = 10 Cent, 1 Cent = 10 Korn.

5. Rußland.

a) Längenmaße.

1 Fuß (= 1 Fuß engl.) = 12 Zoll = 120 Linien = 1200 Skrupel.
1 sashén = 3 arschine (Elle) = 48 werschok = 7 Fuß.
1 Werst = 500 sashén.

b) Flächenmaß.

1 dessätina (für Land) = 2400 Quadrat-sashén.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. 1 tschetwert od. tschetwerik = 8 garnitz = 1601,22 Kubikzoll.
Für Flüssigkeiten. 1 wedro = 5 stoof = 10 kruschke = 20 polukruschke = 750,5 Kub.-Z.

d) Gewichte.

1 Pfund*) = 32 Loth = 96 solotnik = 9216 doli.
1 berkowetz = 10 pud = 400 Pfund.

6. Schweden.

a) Längenmaße.

1 Famn = 3 Alnar = 6 Fot.
1 Fot { 10 Decimal-Tum (Zoll) = 100 Linier.
1 Fot { 12 Verthum (Duodecimalzoll) = 144 Linier.
1 Meile = 18000 Ellen (alnar).

*) Das russische Pfund soll dem Gewichte von 25 Kubikzoll destillirtem Wasser bei 50° F. und 30 Zoll Barometerstand gleich sein.

b) Flächenmaße.

Quadratfamn, Quadrataln u. s. f.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. 1 Last = 12 große Tunnor, 1 große Tunna = 36 Kappar, 1 kleine Tunna = 32 Kapper, 1 Kappe = 1,75 Kanna, 1 Kanna = 100 Kub.-Decimaltum.

Für Flüssigkeiten. 1 Kanna = 2 Stop = 8 Quarter = 32 Jungfrar = 100 K.-Decimalzoll.

1 Am = 4 Ankar = 60 Kannor (Weinmaß).

d) Gewicht.

1 Skalpund = 32 Lod = 128 Quintin. 1 Skeppund = 20 Lispund = 400 Skalpund.

7. Dänemark.

a) Längenmaße.

1 Ruthe = $^{5}/_{3}$ Faden = 5 Ellen = 10 Fuß = 120 Zoll = 1440 Linien.

1 Meile = 12000 Ellen.

b) Flächenmaße.

Quadratruthe, u. s. f.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. 1 Korntonne = 8 Scheffel = 144 Pott = $4^{1}/_{2}$ Kubikfuß.

Für Flüssigkeiten. 1 Kanne = 2 Pott = 8 Pegel = $^{1}/_{18}$ Kubikfuß.

1 Fuder = 6 Ohm = 24 Anker = 930 Pott. 1 Biertonne = 136 Pott.

d) Gewichte.

1 Pfund = 32 Loth = 128 Quint. 1 Quint = 4 Ort = 64 Es = 512 Gran.

1 Centner = 100 Pfd., 1 Schiffspfund = 20 Liespfund = 320 Pfund.

8. Niederlande.

(Die Maße stimmen der Größe nach mit den französischen überein.)

a) Längenmaße.

Mijl = Kilometer, Röde = Dekameter, Elle = Meter, Palm = Decimeter, Duim = Centimeter, Streep = Millimeter.

b) Flächenmaße.

Quadralröde = Are, Bunder = Hektare.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. Mudde = Hektoliter, Schepel = Dekaliter, Kop = Liter.

Für Flüssigkeiten. Vat = Hektoliter, Kaa = Liter, Maatje = Deciliter, Vingerhoed = Centiliter.

d) Gewichte.

Pond = Kilogramm, Once = Hektogramm, Lood = Dekagramm, Wigtje = Gramm, Korrel = Decigramm.

9. Spanien.

a) Längenmaße.

1 estadal = 2 brazo (toesa) = 4 varas = 12 pies (Fuß).

1 pie (de Burgos) = $1^{1}/_{4}$ palmos = 12 pulgados = 144 lineas. 1 cuerda = 8,25 varas.

b) Flächenmaße.

1 fanega (für Land) = 400 Quadrat-estadales.

c) Körpermaße.

1 mogo = 16 arrobes (cantaras) = 128 azumbres.

1 azumbra = 4 quartillos = $154^{2}/_{3}$ Kubik-pulgadas.

1 cahiz = 12 fanegas = 144 celemines.

d) Gewichte.

1 libra = 2 marcos de Burgos = 16 onças = 128 ochavos = 256 adarmes = 9216 granos.

1 quintal = 4 arrobas = 100 libras.

10. Portugal.

a) Längenmaße.

1 vara (Schritt) = $5^{1}/_{2}$ pe = 5 palmos = 40 pollegadas (Zoll) = 480 linhas = 4800 punctas.

1 Grad = 18 legoas = 54 milhas (Meile) = 162 estudios (Stadium).

1 estudio = $117^{11}/_{30}$ braças. 1 braça = 1,5 passo geometrico = 2,25 varas.

b) Flächenmaße.

1 geira (für Land) = 4840 Quadrat-varas.

c) Körpermaße.

1 barrel = 18 almudes, 1 pipa = 26 almudes, 1 tonelada = 52 almudes.
1 almude = 2 potes = 12 canadas = 48 quartetillos.
1 moyo = 15 fongas = 60 alquires = 240 quartos = 480 oitavas.

d) Gewichte.

1 arratel = 2 marcos = 4 quartas = 16 onças = 128 outavas = 9216 graos.
1 quintal = 4 arrobas = 128 arrateis.

11. Deutsche Bundesländer. (Außer Oesterreich und Preußen.)

a) Anhalt: wie in Preußen.

b) Baden.

1 Fuß = 10 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = 10 Fuß.
1 Meile = 2 Wegstunden = 29629 Fuß.
1 Morgen = 400 Quadratruthen.
1 Maß = 1 Meslein ($1^1/_2$ Liter), 1 Ohm = 100 Maß = 400 Schoppen.
1 Malter = 10 Sester = 100 Meslein.
1 Pfund = 32 Loth = 10 Zehnlinge = 100 Centaß = 1000 Dekaß = 10000 Aß.
1 Centner = 10 Stein = 100 Pfund. (= 50 Klgr.)

c) Baiern.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = $2^{41}/_{48}$ Fuß, 1 Ruthe = 10 Fuß.
1 Morgen (Tagewerk) = 400 Quadratruthen.
1 Maß (Maßkanne) = 0,043 Kubikfuß, 1 Eimer = 60 Maß = 240 Quartel.
1 Scheffel = 6 Metze = 12 Viertel = 48 Maßel = 192 Dreißiger, 1 Metze = $34^2/_3$ Maß.
1 Pfund = 32 Loth, 1 Centner = 5 Stein = 100 Pfund.

d) Braunschweig.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = 16 Fuß, 1 Lachter = 80 Zoll = $8^1/_2$ Linie.
1 Feldmorgen = 120 Quadratruthen, 1 Waldmorgen = 160 Quadratruthen.
1 Orhoft = $1^1/_2$ Ohm = 6 Anker = 240 Quartier, 1 Quartier = $52^4/_{11}$ preuß. Kub.-Z.
1 Himten = 2316 Kub.-Zoll.
1 Wispel = 40 Himten = 160 Vierfaß = 640 Metzen.
1 Centner = 100 Pfund, 1 Pfund = 32 Loth.

e) Bremen.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = 16 Fuß.
1 Orhoft = $1^1/_2$ Ohm = 6 Anker = 30 Viertel = $67^1/_2$ Stübchen = 270 Quart = 1080 Mengel.
1 Last = 40 Scheffel = 160 Viertel = 640 Spint.
1 Centner = 116 Pfund, 1 Pfund = 32 Loth.

f) Frankfurt a. M.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 1,9231 Fuß, 1 Feldruthe = $12^1/_2$ Fuß, 1 Waldruthe = 15,849 Fuß.
1 Morgen = 160 Quadrat-Ruthen.
1 Ohm = 20 Viertel = 80 Aichmaß = 320 Schoppen.
1 Malter = 4 Simmer = 16 Sechster = 64 Gescheid, 1 Gescheid = 1 Aichmaß.
1 Centn. = 100 Pfd. Schwergewicht = 108 Pfd. Leichtgewicht, 1 Pf. Leichtg. = 32 Loth.

g) Hamburg.

1 Fuß = 3 Palmen = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Klafter = 6 Fuß.
1 Marschruthe = 14 Fuß, 1 Geestruthe = 16 Fuß.
1 Morgen { Marschland = 600 Quadrat-Marschruthen.
Saatland = 200 Quadrat-Geestruthen.
1 Ohm = 4 Anker = 5 Eimer = 20 Viertel = 40 Stübchen = 80 Kannen = 160 Quart = 320 Oeßel. 1 Stübchen = 265,5152 Kub.-Zoll.
1 Wispel = 10 Scheffel = 20 Faß = 40 Himten = 160 Spint.
1 Faß = 3871,855 Kubik-Zoll.
1 Schiffspfund = $2^1/_2$ Centner = 20 Liespfund, 1 Cent. = 112 Pfd., 1 Pfd. = 32 Loth.

h) Hannover.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = 16 Fuß, 1 Meile = $1587\frac{1}{2}$ Ruthen.
1 Meile = 32000 Fuß.
1 Morgen = 120 Quadrat-Ruthen.
1 Ohm = 4 Anker = 40 Stübchen = 80 Kannen = 160 Quartier = 320 Rößel.
1 Stübchen = 270 Kub.-Zoll.
1 Last = 16 Malter = 96 Himten = 384 Metzen, 1 Himten = $1\frac{1}{4}$ Kub.-Fuß.
1 Centner = 100 Pfund, 1 Pfd. = 32 Loth.

i) Hessen, Großherzogthum.

1 Fuß = 10 Zoll, 1 Elle = 24 Zoll, 1 Klafter = 10 Fuß, 1 Meile = 3000 Klafter, 1 Stunde = 2000 Klafter. 1 Fuß = $\frac{1}{4}$ Meter.
1 Morgen = 4 Viertel = 400 Quadrat-Klafter.
1 Ohm = 4 Viertel = 80 Maß = 320 Schoppen.
1 Malter = 4 Simmer = 16 Kumpf = 64 Gescheid = 256 Mäßchen.
1 Maß = 1 Gescheid = 2 Liter.
1 Centner = 100 Pfund, 1 Pfd. = 32 Lth. (= 500 Gramm).

k) Hessen, Kurfürstenthum.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = 14 Fuß.
1 Acker = 150 Quadrat-Ruthen.
1 Ohm = 20 Viertel = 80 Maß = 320 Schoppen.
1 Viertel = 2 Scheffel = 16 Metzen = 64 Mäßchen.
1 Centner = 110 Pfund, 1 Pfd. = 32 Lth.

l) Lübeck.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = 16 Fuß.
1 Ohm = 20 Viertel = 40 Stübchen = 80 Kannen = 160 Quartier = 320 Plank = 640 Ort.
1 Last = 8 Drömt = 24 Tonnen = 96 Scheffel = 384 Faß.
1 Pfund = 32 Loth. 1 Centner = 112 Pfd.

m) Mecklenburg-Schwerin.

1 Fuß = 12 Zoll (= 1 Lübecker F.), 1 Ruthe = 16 Fuß.
1 Ohm = 4 Anker = 5 Eimer = 20 Viertel = 40 Stübchen = 80 Kannen = 160 Pott.
1 Last = 8 Drömt = 96 Scheffel = 384 Faß = 1536 Metzen oder Spint.
1 Pfund = 32 Loth, 1 Centner = 112 Pfd.

n) Nassau.

1 Fuß Feldmaß = 10 Zoll ($\frac{1}{2}$ Met.), 1 Werkfuß = 12 Zoll (= 0,3 M.) 1 Ruthe = 10 F.
1 Morgen = 100 Quadrat-Ruthen.
1 Ohm = 80 Maß = 320 Schoppen.
1 Malter = 4 Viernsel = 16 Kumpf = 64 Gescheid.
1 Cent. = 106 Pfund.

o) Oldenburg.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Ruthe = 18 od. 20 Fuß.
1 Morgen = 336 Q.-Ruthen à 400 Q.-Fuß.
1 Orhoft = $1\frac{1}{2}$ Ohm = 6 Anker = 156 Kannen = 240 Quartier.
1 Last = 12 Molt = 18 Tonnen = 144 Scheffel.
1 Schiffspfund = 290 Pfd., 1 Centner = 100 Pfd., 1 Pfd. = 32 Lth.

p) Sachsen, Königreich.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = $15\frac{1}{8}$ Fuß, 1 Meile = 32000 Fuß.
1 Acker = 300 Q.-Ruthen.
1 Eimer = 72 Kannen.
1 Wispel = 2 Malter = 24 Scheffel = 96 Viertel = 384 Metzen = 1536 Mäßchen.
1 Centner = 100 Pfund, 1 Pfd. = 32 Loth (= $\frac{1}{2}$ Klgr.)

q) Würtemberg.

1 Fuß = 10 Zoll, 1 Elle = 2,144 Fuß, 1 Ruthe = 10 Fuß.
1 Morgen = 384 Q.-Ruthen.
1 Fuder = 6 Eimer = 96 Immi = 960 Maß = 3840 Schoppen.
1 Scheffel = 8 Simri = 32 Vierling = 128 Meßlein = 256 Ecklein = 1024 Viertelein.
1 Centner = 104 Pfd., 1 Pfd. = 32 Loth.

II. Tafel zur Vergleichung der Fußmaße. (Mit Beifügung der Logarithmen.)

Franz. Meter (Niederl. Elle)	Pariser Fuß	Englischer Fuß (Russischer, amerikanischer Fuß)	Schwedischer Fuß	Spanischer Fuß	Portugiesischer Fuß	Wiener Fuß	Preußischer (rheinl., dänischer) Fuß
1	3,078444 0,4883313	3,280899 0,5153929	3,368126 0,5273883	3,538570 0,5488278	3,044140 0,4834646	3,163446 0,5001605	3,186199 0,5032730
0,3248394 9,5116687	1	1,065765 0,0276616	1,094100 0,0390570	1,149469 0,0604975	0,9888567 9,9951333	1,027612 0,0118292	1,035003 0,0149417
0,3047945 9,4840071	0,9382928 9,9723384	1	1,026362 0,0113954	1,078537 0,0328349	0,9278370 9,9674717	0,9642010 9,9841676	0,9711361 9,9872801
0,2969010 9,4726117	0,9139934 9,9609430	0,9741024 9,9886046	1	1,050605 0,0214395	0,9038084 9,9560763	0,9392304 9,9727722	0,9459860 9,9758847
0,2826000 9,4511722	0,8699664 9,9395025	0,9271822 9,9671651	0,9518324 9,9785605	1	0,8602740 9,9346368	0,893990 9,9513327	0,9004202 9,9544452
0,3285000 9,5165354	1,011269 0,0048667	1,077775 0,0325283	1,106429 0,0439237	1,162420 0,0653632	1	1,039190 0,0166949	1,046664 0,0198084
0,3161109 9,4998395	0,9731299 9,9881708	1,037128 0,0158324	1,064701 0,0272278	1,118581 0,0486673	0,9622880 9,9833051	1	1,007193 0,0031125
0,3138535 9,4967270	0,9661806 9,9850583	1,029722 0,0127199	1,057098 0,0241153	1,110597 0,0455548	0,9554140 9,9801916	0,9928588 9,9968875	1

Baden (Schweiz) 1 Fuß = 0,300000 Meter
1 Fuß = 9,4771213 „
Baiern 1 Fuß = 0,2918592 „
9,4651734 „
Braunschweig 1 Fuß = 0,2853624 „
9,4553967 „
Bremen 1 Fuß = 0,2891950 „
9,4611908 „
Frankfurt a. M. 1 Fuß = 0,2846000 „
9,4542349 „

Hamburg 1 Fuß = (wie Würtemberg)
Hannover 1 Fuß = 0,2920947 Meter
9,4655237 „
Hessen, Ghzth. 1 Fuß = 0,250000 „
9,3979400 „
Hessen, Kfth. 1 Fuß = 0,2876991 „
9,4589386 „
Lübeck 1 Fuß = 0,2911000 „
9,4640422 „

Mecklenb. Schw. 1 Fuß = (wie Lübeck)
Nassau 1 Fuß = (wie Baden)
Oldenburg 1 Fuß = 0,2964150 Meter
9,4719002 „
Sachsen, Königr. 1 Fuß = 0,2831901 „
9,4520781 „
Würtemberg 1 Fuß = 0,2864903 „
9,4571100 „

III. Tafel zur Vergleichung der Quadratfuße.

Französische Quadr.-Meter	Pariser Quadr.-Fuß	Englischer (russischer) Q.-Fuß	Schwedischer Q.-Fuß	Spanischer Q.-Fuß	Portugiesischer Q.-Fuß	Wiener Q.-Fuß	Preußischer Q.-Fuß
1	9,476817	10,76430	11,34427	12,52145	9,266786	10,00739	10,15187
0,1055207	1	1,135856	1,197055	1,3212805	0,9778472	1,055987	1,071232
0,0928997	0,8803934	1	1,053879	1,1632414	0,8608816	0,9296836	0,9431053
0,08815022	0,8353836	0,9488754	1	1,1037710	0,8168694	0,882154	0,8948894
0,07986278	0,7568415	0,8596268	0,9059850	1	0,7400713	0,7992184	0,8107564
0,1079122	1,022665	1,161600	1,2241856	1,351221	1	1,079916	1,095511
0,09992613	0,9469817	1,075635	1,1335888	1,251223	0,9259982	1	1,014437
0,09850405	0,9335049	1,060327	1,1174557	1,2334162	0,912816	0,9857686	1

	Q.-Meter		Q.-Meter		Q.-Meter
Baden	1 Q.-Fuß = 0,0900000	Hamburg	1 Q.-Fuß (wie Würtemberg)	Mecklenburg Schw.	1 Q.-Fuß (wie Lübeck)
Baiern	1 Q.-Fuß = 0,08518180	Hannover	1 Q.-Fuß = 0,08531933	Nassau	1 Q.-Fuß (wie Baden)
Braunschweig	1 Q.-Fuß = 0,8143171	Hessen, Ghzth.	1 Q.-Fuß = 0,0625000	Oldenburg	1 Q.-Fuß = 0,08776188
Bremen	1 Q.-Fuß = 0,08363376	Hessen, Kfth.	1 Q.-Fuß = 0,08277076	Sachsen, Königr.	1 Q.-Fuß = 0,08019661
Frankfurt a. M.	1 Q.-Fuß = 0,08099717	Lübeck	1 Q.-Fuß = 0,08473922	Würtemberg	1 Q.-Fuß = 0,08207671

IV. Tafel zur Vergleichung der Kubikfuße.

Französischer Kub.-Meter	Pariser Kub.-Fuß	Englischer (russischer) Kub.-Fuß	Schwedischer Kub.-Fuß	Spanischer Kub.-Fuß	Portugiesischer Kub.-Fuß	Wiener Kub.-Fuß	Preuß. (dänischer) Kub.-Fuß
1	29,17385	35,31658	38,20893	44,30813	28,209397	31,65785	32,34587
0,03427727	1	1,210556	1,3096975	1,518772	0,9669409	1,085145	1,108728
0,02831531	0,8260668	1	1,0818977	1,254598	0,7987577	0,8964019	0,9158836
0,02617189	0,763535	0,9243016	1	1,1596275	0,7382933	0,828546	0,846553
0,02256922	0,6584268	0,7970677	0,8623458	1	0,6366641	0,7144932	0,730021
0,03544918	1,0341895	1,251944	1,3544753	1,570627	1	1,1222372	1,146635
0,03158774	0,9215362	1,115571	1,206933	1,399594	0,8910772	1	1,021733
0,03091584	0,9019342	1,091842	1,181261	1,369823	0,872117	0,9787291	1

	Kub.-Meter		Kub.-Meter		Kub.-Meter
Baden	1 Kub.-Fuß = 0,027000	Hamburg	1 Kub.-Fuß = (wie Würtemberg)	Mecklenburg	1 Kub.-Fuß = (wie Lübeck)
Baiern	1 Kub.-Fuß = 0,02486109	Hannover	1 Kub.-Fuß = 0,02492133	Nassau	1 Kub.-Fuß = (wie Baden)
Braunschweig	1 Kub.-Fuß = 0,0323755	Hessen, Ghzth.	1 Kub.-Fuß = 0,01562500	Oldenburg	1 Kub.-Fuß = 0,02604357
Bremen	1 Kub.-Fuß = 0,02418647	Hessen, Kfth.	1 Kub.-Fuß = 0,02381307	Sachsen, Königr.	1 Kub.-Fuß = 0,02271088
Frankfurt a. M.	1 Kub.-Fuß = 0,02305179	Lübeck	1 Kub.-Fuß = 0,02466758	Würtemberg	1 Kub.-Fuß = 0,02351418

V. Tafel der Meilenmaße.

1 Kilometer	= 3078,5	Par. Fuß	1 spanische Legua	= 12882	Par. Fuß
1 französische Lieue	= 13704,4	⸗ ⸗	1 portugiesische Legua	= 19034	⸗ ⸗
1 franz. oder holländische Seemeile } 1 englische League }	= 17130,4	⸗ ⸗	1 österreichische Meile	= 45003,5	⸗ ⸗
			1 preußische Meile	= 23113	⸗ ⸗
			1 geographische Meile	= 22842,5	⸗ ⸗
1 englische Meile	= 4956,4	⸗ ⸗	1 italienische Meile	= 5710,1	⸗ ⸗
1 engl. Seemeile	= 5710,1	⸗ ⸗	1 bairische große Meile	= 39425,8	⸗ ⸗
1 russische Werst	= 3284,8	⸗ ⸗	1 hannöversche Meile	= 28800	⸗ ⸗
1 schwedische Meile	= 32911,6	⸗ ⸗	1 sächsische gemeine M.	= 20907,8	⸗ ⸗
1 dänische Meile	= 23165	⸗ ⸗	1 ⸗ Polizei⸗Meile	= 27877,1	⸗ ⸗

VI. Tafel der besonderen Flächenmaße.

1 englische acre	= 4840 Quadr.⸗yards	= 0,4046710	Hektaren.
1 russische dessätina	= 2400 Quadr.⸗sashén	= 1,092500	⸗
1 schwedische Tonne	= 56000 Quadr.⸗Fuß	= 0,4936111	⸗
1 spanische fanega	= 400 Q.⸗estudales	= 0,459700	⸗
1 portugiesische geira	= 4840 Quadr.⸗varas	= 0,5817000	⸗
1 österreich. Joch	= 1600 Quadr.⸗Klafter	= 0,5755745	⸗
1 preußische Morgen	= 180 Q.⸗Ruthen	= 0,2553225	⸗
1 bairisch. Tagewerk	= 400 Q.⸗Ruthen	= 0,3407272	⸗
1 hannöv. Morgen	= 120 Q.⸗Ruthen	= 0,2621010	⸗
1 sächsisch Acker	= 300 Q.⸗Ruthen	= 0,5534234	⸗
1 braunschw. Feldmorgen	= 120 Q.⸗Ruthen	= 0,2501582	⸗
1 würtemb. Morgen	= 384 Q.⸗Ruthen	= 0,3151746	⸗
1 darmstädt. Morgen	= 400 Q.⸗Klafter	= 0,250000	⸗
1 badischer Morgen	= 400 Q.⸗Ruthen	= 0,360000	⸗

VII. Tafel der Fruchtmaße.

1 französisch. Kiloliter	= 1000	Liter	1 braunschweig. Wispel	= 310,440	Liter
1 engl. Imperial⸗Quarter	= 290,689	⸗	1 bremischer Scheffel	= 71,126	⸗
1 österreich. Metze	= 61,499	⸗	1 hamburgischer Scheffel	= 105,371	⸗
1 preußisch. Scheffel	= 54,961	⸗	1 hannöv. Malter	= 186,620	⸗
1 russischer Tschetwert	= 194,556	⸗	1 hessischer (grßh.) Malter	= 128,000	⸗
1 schwed. Tonne (kl.)	= 146,520	⸗	1 hessisches (kurf.) Viertel	= 160,377	⸗
1 dänische Tonne	= 139,112	⸗	1 lübeck. Scheffel	= 33,404	⸗
1 spanische Cahiz	= 57,149	⸗	1 oldenburgische Tonne	= 178,230	⸗
1 portugies. Moyo	= 813,95	⸗	1 königl. sächsischer Scheffel	= 107,434	⸗
1 badischer Malter	= 150,00	⸗	1 würtembergisch. Scheffel	= 177,226	⸗
1 bairischer Scheffel	= 222,357	⸗			

VIII. Tafel der Flüssigkeitsmaße.

1 englischer Gallon	= 4,542	Liter	1 braunschweig. Orhoft	= 224,8425	Liter
1 österreichischer Eimer	= 58,015	⸗	1 bremischer Ohm	= 142,785	⸗
1 preuß. Orhoft	= 206,106	⸗	1 frankfurter Ohm	= 143,418	⸗
1 russischer Wedro	= 12,695	⸗	1 hamburger Ahm	= 144,806	⸗
1 schwedischer Ahm	= 157,105	⸗	1 hannöversch. Ahm	= 155,517	⸗
1 schwedische Kanne	= 2,618	⸗	1 großh. hessischer Ohm	= 160,000	⸗
1 dänische Ohm	= 149,735	⸗	1 kurf. hessischer Ohm	= 159,357	⸗
1 spanische Cantaro	= 15,75	⸗	1 lübeckischer Ahm	= 144,805	⸗
1 portug. Tonelada	= 870,580	⸗	1 nassauischer Ohm	= 135,574	⸗
1 badische Ohm	= 150,000	⸗	1 königl. sächsischer Eimer	= 69,4305	⸗
1 bairischer Eimer	= 64,141	⸗	1 würtembergischer Eimer	= 293,927	⸗

IX. Tafel zur Vergleichung der Gewichtseinheiten. (Mit Beifügung der Logarithmen.)

Französische (niederländische) Kilogramm	Englische Pfund a. d. p. (amerik. Pfund)	Russisches Pfund	Schwedisches Skalpund	Dänisches (norwegisches) Pfund	Spanische Libra	Oesterreichisches Pfund	Preuß. (hannöv., braunschw., kurhessisches) Pfund
1	2,204597 0,3433293	2,441883 0,3877249	2,351063 0,3712643	2,002768 0,3016306	2,173507 0,3371610	1,785675 0,2518025	2,138072 0,3300224
0,4535976 9,6566707	1	1,107632 0,0443956	1,066437 0,0279350	0,9084507 9,9583014	0,9858972 9,9938317	0,8099781 9,9084733	0,9698245 9,9866932
0,4095200 9,6122751	0,9028266 9,9556044	1	0,9628074 9,9835394	0,8201735 9,9139057	0,8900944 9,9494361	0,7312698 9,8640776	0,8755834 9,9422975
0,4253395 9,6287357	0,9377023 9,9720650	1,038629 0,0164606	1	0,8518363 9,9303663	0,9244782 9,9658967	0,7595183 9,8805382	0,9094066 9,9587581
0,4993090 9,6983694	1,100775 0,0416986	1,219254 0,0860943	1,173907 0,0696337	1	1,085251 0,0355304	0,8916038 9,9501719	1,067559 0,0283918
0,4600860 9,6628390	1,014304 0,0061683	1,123476 0,0505639	1,081689 0,0341033	0,9214452 9,9644696	1	0,8215642 9,9146415	0,9836975 9,9928614
0,5600122 9,7481975	1,234601 0,0915267	1,367484 0,1359224	1,316624 0,1194618	1,121574 0,0498281	1,217191 0,0853585	1	1,197347 0,0782199
0,4677110 9,6699776	1,031114 0,0133068	1,142096 0,0577025	1,099618 0,0412419	0,9367166 9,9716082	1,016573 0,0071386	0,8351800 9,9217801	1

Baden 1 Pfd. = 0,50000 Kilogr.
9,6989700 „

Baiern 1 Pfd. = 0,56000 „
9,7481880 „

Bremen 1 Pfd. = 0,49873 „
9,6978655 „

Frankfurt a. M. Lg. 1 Pfd. = 0,467914 „
9,6701660 „

Hamburg 1 Pfd. = 0,48432 „
9,6851324 „

Hessen, Ghzth. 1 Pfd. = (wie Baden)

Lübeck 1 Pfd. = 0,48451 Kilogr.
9,6853027 „

Mecklenburg Schw. 1 Pfd. = 0,50854 „
9,7063251 „

Nassau 1 Pfd. = 0,470686 „
9,6727313 „

Oldenburg 1 Pfd. = 0,480367 „
9,6815732 „

Sachsen, Königr. 1 Pfd. = (wie Baden)

Würtemberg 1 Pfd. = 0,4677280 Kilogr.
9,6699933 „

Portugal Arratel = 0,45892 „
9,6617370 „

Deutsches Medicinal-Pfd = 0,3578540 „
9,5537059 „

M. S.

Maßanalyse, **Titrirmethode**, dosages à liqueurs titrées oder à la voie humide. In den wenigen Jahren seit dem Drucke des Art. **Analyse** (Bd. I. S. 154) hat sich die Titrirmethode eine solche Geltung verschafft, daß wir sie hier nicht übergehen können. Während bei den bis jetzt gebräuchlichsten quantitativen Bestimmungen das Endresultat vermittelst der Wage, also durch das Gewicht, gefunden wird, kann man bei den Maßanalysen die Ergebnisse der Untersuchung sehr leicht aus den verbrauchten Raumtheilen der Reagentien berechnen. Leicht in die Augen fallende Erscheinungen zeigen hierbei an, daß man mit dem Zusatz der Reagentien (der Maß- oder Probeflüssigkeit) aufzuhören habe.

Begründet wurde diese Methode zuerst in Frankreich. Wenn auch die Vortheile, die sie gewährt und die in einer bedeutenden Ersparniß an Zeit und Mühe bestehen, während die Genauigkeit der Resultate darunter nicht im Geringsten leidet, sogleich in die Augen fielen, so standen ihrer Einführung in das praktische Leben doch bedeutende Schwierigkeiten gegenüber. Am meisten wurde der Techniker, für den diese Methode der Analyse vorzüglich bestimmt ist, durch die große Menge der Probeflüssigkeiten und deren verschiedene Stärke von ihrer Anwendung zurückgehalten. Geraume Zeit hindurch fand die Maßanalyse nur in einzelnen Fällen, z. B. der **Acidimetrie** (Bd. I. S. 102) und **Alkalimetrie** (**Alkalimeter** Bd. I. S. 137) Verwendung. Es half wenig, daß H. **Schwarz** *) alles über diesen Gegenstand in verschiedenen Zeitschriften zerstreut Erschienene sammelte. Die schnellen Fortschritte der Wissenschaft brachten stets neue Methoden, so daß sich der Kreis der Stoffe, auf welche die Maßanalyse anzuwenden ist, ansehnlich erweiterte, aber auch dies reichte nicht aus, um die Scheu der Techniker zu überwinden. Was auf der einen Seite an Arbeit erspart wurde, ging auf der anderen durch den schon erwähnten Umstand wieder verloren.

Heute aber stehen die Sachen anders. Das Verdienst, diese Umwandlung hervorgebracht zu haben, gebührt deutschen Chemikern. Zuerst war es **Bunsen** **), der eine in Bezug auf die Maßanalysen Epoche machende Arbeit veröffentlichte, durch die er bald anderen Forschern (**Streng** ***) und **Mohr**) Gelegenheit gab Verbesserungen einzuführen, die in sofern für die Technik von großer Wichtigkeit sind, als dadurch die Ausführung der Analysen leichter und das Resultat sicherer gemacht worden ist. Durch die Bemühungen dieser Männer sind die Maßanalysen das werthvollste Geschenk geworden, welches die Chemie der Agrikultur, Physiologie, Technologie und Hüttenkunde, also so zu sagen dem Leben und der Menschheit überhaupt machen konnte, wodurch aber keinesweges die bisher übliche quantitative Untersuchungsmethode ihren Werth verloren hat.

Mohr hat weiter das Verdienst, daß er die verwirrende Masse der einzelnen Bestimmungen gesammelt, kritisch gesichtet und übersichtlich zusammengestellt hat ****). Dadurch hat er die Forschungen der Wissenschaft in das praktische Leben eingeführt und sie der Technik nutzbar gemacht. Der Zusammenstellung des Alten hat er aber auch selbstständig viel Neues hinzugefügt und namentlich in

*) Ueber die Maßanalysen. Braunschweig 1850.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXVI. S. 265; diese Abhandlung ist auch besonders erschienen.

***) Pogg. Ann. Bd. XCII. S. 57.

****) Lehrbuch der chemisch-analytischen Titrirmethode. Erste Abthlg. Braunschw. 1855.

Bezug auf die Instrumente macht sich sein bekanntes praktisches Talent wieder geltend. Die einzelnen Methoden sind auf eine solche Einfachheit zurückgeführt, daß selbst jeder Geschäftsmann, der der Wissenschaft dringend bedarf, aber ihr doch wenig Aufmerksamkeit schenkt, die Lehren derselben sich praktisch nutzbar machen kann. Die Untersuchungen können selbst im Laufe einer technischen Operation, auf die sie einen großen Einfluß ausüben, durchgeführt werden, ohne darauf störend einzuwirken. Von wie großer Wichtigkeit die Maßanalyse für den praktischen Chemiker, den Arzt, Pharmaceuten, Berg- und Hüttenmann, Fabrikanten, Agronomen, Metallurgen, Münzbeamten 2c. ist, wird die Aufzählung einiger Analysen: des Braunsteins, der Eisenerze, der Schlacken, die Bestimmung des Bleies, des Kupfers, Kobalts, Nickels, Chlorkalks, der Soda, Pottasche, des Kalks und Mergel und der Brunnenwasser, der Säuren und des Zuckers im Most und anderen Fruchtsäften, die Untersuchung des Harnes, die Bestimmung des Zuckers darin 2c. beweisen.

Die Maßanalysen zerfallen im Wesentlichen in Sättigungsanalysen (Alkalimetrie und Acidimetrie), Oxydations- und Reductionsanalysen und Fällungsanalysen. Die ersteren sind durch Gay-Lussac, die zweiten durch Marguerite, Bunsen, Streng und Mohr und die letzten durch Liebig begründet worden. Als Grundlage der Acidimetrie dient nach Mohr die krystallisirte Kleesäure und demnächst kohlensäurefreies Aetznatron und reine Salpetersäure, die mit der Kleesäure gleichwerthig sind. Beurtheilt wird die Probe nach der sichtbaren Farbenveränderung, welche gewisse organische Farbstoffe (die Auszüge von Lackmus, Fernambuk- und Campecheholz) durch Säuren oder Alkalien erleiden. Unter den Oxydationsmitteln nimmt das saure chromsaure Kali den ersten Rang ein; dann folgt die Jodlösung in Jodkalium und das überchromsaure Kali (Chamäleon), das trotz seiner sonstigen Mängel doch wegen seiner hohen oxydirenden Kraft ein werthvoller Stoff ist. Die schönste und sichtbarste Erscheinung bei Oxydationsanalysen ist das Hervortreten der blauen Farbe der Jodstärke. Bei den Reductionsanalysen darf diese Erscheinung erst eintreten, wenn das Reductionsmittel vollständig oxydirt ist; diese müssen also im Stande sein, die blaue Farbe der Jodstärke zu zerstören. Dies thun am besten die schweflige Säure und das Zinnchlorür. Die Oxydations- und Reductionsanalysen geben ein Mittel ab, eine große Menge von Stoffen mit der schärfsten Genauigkeit auf leichte Weise quantitativ zu bestimmen. Die hier zur Anwendung kommenden Reagentien sind: das überchromsaure Kali gegen schwefelsaures Eisenoxydul-Ammoniak oder Kleesäure, doppelt chromsaures Kali und Zinnchlorür (nach Streng für die meisten Fälle anwendbar), schweflige Säure und Jodlösung (nach Bunsen) und arsenigsaures Natron und Jodlösung (nach Mohr, bei alkalischen Flüssigkeiten, Chlorkalk, Chlornatrium und Jod). Bei den Fällungsanalysen gewährt die Bildung eines Niederschlages am Ende der Operation größere Sicherheit als das Aufhören der Bildung eines solchen. In Bezug auf den letzteren Fall eignen sich nur wenige Stoffe zu dieser Bestimmung; nur solche, deren Niederschlag sich leicht absetzt oder zusammenballt.

Weiter haben wir bei den Maßanalysen zwei verschiedene Methoden zu unterscheiden: die directe Bestimmung und die Restmethode. Die erstere ist wohl der Theorie nach die sicherste, aber sie läßt sich doch nur in sehr wenigen Fällen anwenden, weil nur bei sehr wenigen der zu untersuchenden Körper am Ende der Operation eine deutlich in die Augen fallende Erscheinung hervortritt oder auf leichte Weise,

ohne das Ergebniß der Forschung zu beeinträchtigen, hervorgerufen werden kann. Bei der Restmethode setzt man solchen Stoffen, die aus dem angegebenen Grunde nicht direct bestimmt werden können, einen bestimmten Ueberschuß der Reagentien zu und bewirkt dadurch eine leicht wahrnehmbare Erscheinung. Der Ueberschuß läßt sich leicht quantitativ bestimmen und dadurch erfährt man auch die Menge der wirklich verbrauchten Substanz, aus der das Resultat der Untersuchung berechnet wird.

Nach Mohr haben die Probeflüssigkeiten zwei bestimmte Grade der Stärke. Das Litre enthält entweder 1 Atom, d. h. die Zahl der Grammen des kleinsten Atomgewichts, oder $^1/_{10}$ Atom der wirksamen Substanz. Nach dem Ende der Analyse braucht man daher nur die Zahl der verbrauchten Kubikcentimeter Probeflüssigkeit mit dem tausendsten oder zehntausendsten Theile eines Atoms einer Substanz zu multipliciren, um das Grammengewicht derselben Substanz zu erfahren. Diese Berechnungen werden, eben so wie die der gewöhnlichen quantitativen Analyse, durch Tabellen erleichtert, so daß eine einfache Addition das Endresultat angiebt. — Den Gehalt von veränderlichen Flüssigkeiten, z. B. beim überchromsauren Kali, dem Zinnchlorür ꝛc., bestimmt man kurz vor dem Gebrauche. Die verschiedenen Probeflüssigkeiten kann man auf dem Wege des Handels aus den chemischen Fabriken von Kugler und Lehmann in Offenbach a. M. und von Friedrich Nienhaus und Comp. bei Coblenz beziehen.

Wir müssen uns hier auf diese Andeutungen beschränken. Wer sich über die Maßanalyse genauer unterrichten oder sie in Anwendung bringen will, den verweisen wir auf das angeführte Werk von Mohr. W. B.

Masse. Unter der Masse eines Körpers denkt man sich gewöhnlich die Quantität der Materie, aus welcher er besteht, ohne daß man dabei auf seine sonstige Beschaffenheit Rücksicht nimmt. Die Masse bezieht sich auf den Grad der Raumfüllung eines Körpers, so daß dieser um so dichter ist, je mehr Masse er im Vergleich zu einem anderen Körper von gleichem Volumen besitzt. (S. Bd. III. Art. Gewicht, specifisches S. 546 ff.)

Wenn ein bewegter Körper mit einer gewissen Geschwindigkeit auf einen ruhenden trifft, so muß sich diese Geschwindigkeit in dem gestoßenen Körper vertheilen, bis beide Körper eine gemeinschaftliche Geschwindigkeit erlangt haben, die von der Masse des letzteren Körpers abhängig ist. Da die Einwirkung, welche zwischen beiden Körpern während des Stoßes stattfindet, sich von den unmittelbar getroffenen Theilchen des zweiten Körpers durch alle Schichten seiner Masse von Theilchen zu Theilchen fortpflanzen muß, so wird die Geschwindigkeit des getroffenen Körpers um so kleiner ausfallen, je größer seine Masse ist; sie muß mit der letzteren im umgekehrten Verhältnisse stehen. Zwei Körper nun, die keine sehr merkliche Elasticität besitzen, werden sich zur Ruhe bringen, wenn sie sich in entgegengesetzten Richtungen stoßen und ihre Massen im umgekehrten Verhältnisse der Geschwindigkeiten stehen, womit sie sich begegneten. Die Bedingung des Gleichgewichts beim centralen Stoße ist deshalb die Gleichheit ihrer sogenannten Bewegungsgrößen, oder die Gleichung $mc = m'c'$, wenn m und m' ihre Massen und c, c' ihre Geschwindigkeiten bezeichnen. Der Stoß würde hiernach das directeste Mittel darbieten, die Masse der Körper zu bestimmen, falls es nur überhaupt ausführbar wäre. Man brauchte nämlich nur allen Punkten eines Körpers, dessen

Masse als Einheit angenommen wird, eine bekannte Geschwindigkeit c mitzutheilen. Könnte man dann die Geschwindigkeit c′ genau bestimmen, welche alle Theilchen eines anderen Körpers haben müßten, damit dieser dem ersten das Gleichgewicht hielte, wenn er denselben in einer Richtung, die dessen Bewegung entgegengesetzt ist, träfe, so wäre der Werth der zweiten Masse $\frac{c}{c'}$.

Das bequemste Mittel, von dem man auch Gebrauch macht, um die Massen verschiedener Körper zu bestimmen, ist die Gewichtsbestimmung derselben. Das Gewicht eines Körpers ist nämlich seiner Masse proportional (Art. Gewicht, Bd. III. S. 541 ff.), so daß die Massen verschiedener Körper sich wie ihre Gewichte verhalten, woraus die Bestimmung der Masse ohne Weiteres folgt.

Materie.

I. Historisches.

So sicher und klar die materiellen Außendinge für die sinnliche Anschauung erscheinen, so schwierig ist es für die Reflexion und das Denken, ihr Wesen oder die Natur des Materiellen überhaupt zu bestimmen. Wenn man von allen quantitativen und qualitativen Unterschieden der Dinge absieht, so bleibt immer noch als gemeinschaftliche Eigenthümlichkeit derselben die Raumerfüllung übrig, und man erklärt hiernach die Materie im Allgemeinen als das Reale, welches den Raum erfüllt und in ihm beweglich ist. Indessen hat man damit nur eine Namenerklärung aufgestellt, die uns über die Natur dessen, was den Raum einnimmt, und über die Art, wie dies geschieht, gänzlich im Dunkel läßt. Die Fragen hierüber und die Versuche, sie zu beantworten, sind, so wie der Begriff der Materie selbst, Producte des Denkens, das über die nackte Thatsache der sinnlichen Wahrnehmungen mit Nothwendigkeit hinausgetrieben ward. Den geschichtlichen Verlauf der betreffenden Bemühungen wenigstens der Hauptsache nach kennen zu lernen, ist kein entbehrlicher Luxus. Man wird vielmehr dadurch aufgeklärt, worin das Räthsel der Materie besteht, und was die Wissenschaft zu leisten hat, um das räumlich Existirende zu begreifen und eine allseitig genügende, wohlbegründete Ansicht über das Wesen der Materie zu geben. Man lernt die Wege kennen, die man bereits eingeschlagen hat, jenes Räthsel zu lösen, und man wird in den Stand gesetzt, besser zu beurtheilen, wie weit man etwa noch vom Ziele entfernt ist. Daher wird eine kurze geschichtliche Darstellung der Hauptansichten über das Wesen der Materie dem Zwecke dieses Wörterbuchs entsprechend sein. Manche unter ihnen, die nur aus einer sehr unvollständigen Auffassung des Gegebenen hervorgehen konnten, nehmen sich freilich wunderlich genug neben dem Reichthum der heutigen Naturkenntnisse aus, der durch fortgesetzte Beobachtungen und Versuche und durch ein darauf sich stützendes Denken gewonnen ist. Dennoch können auch solche Ansichten ein gewisses culturhistorisches Interesse haben, während andere dadurch bedeutungsvoll sind, daß sie entschieden auf die eigentlichen Schwierigkeiten im Begriffe der Materie hindeuten.

Auf dem Standpunkte der reflexionslosen Anschauung macht man unbewußt die Voraussetzung, nicht nur daß die Dinge um uns her sind, sondern daß sie auch so sind, wie sie sich der sinnlichen Wahrnehmung darbieten. Die erste Störung dieses kindlichen Glaubens wird herbeigeführt, wenn man bemerkt, daß sich die Sinnendinge verändern, ja, daß sie scheinbar ganz vergehen und neu

entstehen. Die Veränderung trifft aber nicht alle Eigenschaften gleichmäßig, sondern einige sind beständiger und erscheinen in dem Wechsel häufiger wieder, als andere, so daß sie in den Reihen der Veränderungen wie immer wiederkehrende Anfangspunkte sich hervorheben. Durch dieses Schauspiel angeregt, stellte sich Thales die Frage: woraus sind alle Dinge geworden und worin endigt alle Veränderung? Auf Grund einiger wenigen, jedenfalls allzubeschränkten Beobachtungen gab er als den Anfang aller Dinge das Wasser an, Anaximenes dagegen die Luft: aus ihnen sollte durch Verdünnung und Verdichtung aller Wechsel der Dinge entstehen. So würde also das Wasser oder die Luft als ein Etwas zu denken sein, das seinem Wesen nach dasselbe bleibt, während nur seine Zustände wechseln, und das durch den Wechsel in letzterer Beziehung die Mannichfaltigkeit und die Veränderungen der Dinge begründet. Mit einem Worte, Thales wie Anaximenes dachten ihr Grundwesen als Element: sie haben diesen Begriff zuerst erzeugt. Allein sowohl die von Thales als auch von Anaximenes angegebene Beschaffenheit des Elementes fällt selbst in die Reihe der Veränderungen der Sinnendinge: ihr Vorrecht vor jeder andern sinnlich wahrnehmbaren Beschaffenheit ist nicht begründet; mit demselben Recht dürfte auch jede andere als die wahre Qualität des Elementes angesehen werden. Daraus folgt, daß das den Veränderungen zu Grunde liegende Wesen keine von allen sinnlich wahrnehmbaren Beschaffenheiten besitzen darf, sondern gleichsam zwischen allen schweben muß als ein qualitativ Unbestimmtes, das aber alle bestimmten, sinnlich wahrnehmbaren Beschaffenheiten annehmen kann. Das ist der Sinn des Unendlichen, oder deutlicher übersetzt, des Unbestimmten bei Anaximander, worunter er nicht mehr ein Element verstand, sondern den reinen Stoff, der selber ohne jegliche bestimmte Qualität ist, aus dem sich aber alles sinnlich Wahrnehmbare mit seinen mannichfaltigen bestimmten Beschaffenheiten durch Ausscheidung bilden soll. Diese Anfänge des Theoretisirens sind ein sprechender Beleg dafür, daß die Anschauung nur ganz allmälig mit Producten des Denkens versetzt wurde, und daß dieses Denken anfänglich sich in kleinen, unsicher tastenden Schritten bewegte. Man nahm an der Veränderung der Dinge Anstoß, und suchte das, was als Bleibendes dem Begriffe des Seienden besser entspricht und dem Veränderlichen als immer Beharrendes zu Grunde liegt. Um aus einem solchen doch auch die gegebenen Veränderungen zu erklären, beschränkte man den Wechsel auf seine Zustände, gerieth aber damit unversehens erst recht tief in die Vorstellungsweise, die man vermeiden wollte, hinein. Man fragte nämlich noch nicht darnach, was die Umwandlung des Elementes oder Stoffes veranlasse, d. h. man hatte den Begriff der verändernden, bewegenden Kraft noch nicht erzeugt, sondern mußte annehmen, daß die Umwandlung zur Natur des Elementes oder Stoffes gehöre. Dieser Gedanke wurde jedoch erst zum vollkommen klaren Bewußtsein erhoben und bestimmt ausgesprochen durch Heraklit, da er alle Beharrung, alles Sein für Sinnestäuschung ansah, dagegen die Veränderung, das Werden für die wahrhafte Natur des Realen, für etwas Ursprüngliches erklärte. Die allgemeine Veränderung drückte er mit dem Bilde aus, daß Alles fließt, und mit dem widersprechenden Begriffe, daß Alles zugleich ist und nicht ist. Demzufolge würden zu den Veränderungen der Dinge keine Ursachen oder sie bewirkende Kräfte zu suchen sein, sondern das Sich verändern oder Werden ist ohne Bedingung und Ursache, es ist absolut. Um diesem abstrakten Begriffen die Haltung der sinnlichen Vorstellung zu

geben, brauchte Heraklit das Feuer als sinnlich wahrnehmbares Zeichen oder Symbol der absoluten Veränderung und Bewegung, da es vor Allem der Natur eines ursprünglich und unaufhaltsam Beweglichen am nächsten zu kommen scheint. Für den Zweck dieses Artikels ist es genug, anzudeuten, daß aus dem Grundbegriffe des absoluten Werdens eine einzige anfangs- und endlose Reihe von Veränderungen von gleicher Richtung und Geschwindigkeit, ohne Absatz und ohne Wiederholung folgt, daß aber die in der Erfahrung gebotenen Veränderungen nicht so beschaffen sind, und daß deshalb Heraklit selbst genöthigt war, seinem Gedanken die Consequenzen abzubrechen und anzunehmen, die Natur entwickele sich anders als der Geist, und im Werden liege ein ursprünglicher Gegenlauf der Bewegungen, wodurch gegenseitige Hemmung und vermittelst derselben der Schein eines dauernden Bestehens herbeigeführt würde.

Während sonach die genannten Jonischen Physiologen damit endigten, das wahrhaft Existirende lediglich als ein Veränderliches oder Werdendes zu denken, und die Ausdehnung oder Materialität der Dinge noch gar nicht in Betracht zogen, stellten dagegen die Eleatischen Philosophen den Begriff des Seins mit Schärfe und Entschiedenheit an die Spitze, und brachten auch die Frage nach dem räumlich Existirenden in Anregung und Verhandlung. Das Sein, lehrten sie, ist einfach, untheilbar, eines, unveränderlich, sich selbst gleich und nur im Denken zu erfassen. Alles, was ein Anderswerden zeigt, wie die ganze Welt der uns umgebenden Dinge, ist Nichtseiendes, ist nur Schein und Trug. Nur das Sein ist. An diesem Begriffe hielten sie so consequent fest, daß sie seinetwegen die ganze Sinnenwelt als Trug verwarfen und darauf verzichteten sie zu begreifen. Um nun dieser mit der Erfahrung geradezu brechenden Lehre von der Einheit und Einfachheit des Seins mehr Eingang zu verschaffen und sie zu befestigen, zeigte Zeno von Elea mit vielem Scharfsinn, daß die Annahme einer Vielheit von veränderlichen, beweglichen und ausgedehnten Dingen zu Widersprüchen führe. Diese Auseinandersetzungen kennen wir leider nur fragmentarisch: glücklicherweise aber diejenigen vollständig genug, die die Ausdehnung der Dinge betreffen, und an diesem Orte vorzüglich interessiren. Wenn man die Dinge als ausgedehnte und theilbare faßt, und ihre Bestandtheile durch Theilung suchen und nachweisen will, so wird man durch Zeno's Dialektik entweder auf das Nichts getrieben oder auf das Unendliche. Das Ausgedehnte wird gedacht als ein Vieles, das aus Theilen besteht, das also nothwendigerweise auch letzte Bestandtheile haben muß. Wenn nun irgend ein Körper getheilt wird, und man behauptet, man habe (wenn auch nur in Gedanken oder dem Begriffe nach, nicht durch wirklich ausgeführte Theilung) die letzten Bestandtheile erreicht, so muß jeder derselben einfach sein. Was aber einfach ist, hat keine Größe: zu einem anderen hinzugefügt, macht es dasselbe nicht größer, von ihm hinweggenommen, nicht kleiner; es ist deshalb das vorgebliche Einfache, woraus das Viele bestehen soll, Nichts. Will man dagegen, um dieser Ungereimtheit zu entgehen, jenem vermeintlichen Letzten noch eine Größe belassen, so hätte es auch Theile, diese Theile hätten dann wiederum eine Größe, folglich wieder Theile und so ins Unendliche. Darnach müßte jeder kleinste Körper unendlich viele, immer noch ausgedehnte Theil enthalten, also vielmehr unendlich groß gedacht werden, was sich ebenfalls widerspricht. Hiermit hat Zeno zuerst die Schwierigkeiten entdeckt und bloßgelegt, die in der That im Begriffe der Materie als eines räumlichen Realen eingeschlossen sind. Zu

ihrer Ueberwindung oder Entfernung machte er selbst keine Anstrengungen, sie sollten ihm ja blos dazu dienen, die eleatische Lehre von der Einheit und Untheilbarkeit des lediglich denkbaren Seins indirect zu rechtfertigen. Allein er hatte damit neben die Veränderung einen zweiten Ausgangspunkt gestellt und den Denkern eine zweite Aufgabe gegeben, nämlich die Körperlichkeit der Dinge zu begreifen und ohne Widersprüche zu denken. Denn zu der Resignation der Eleaten, die nur mit einem einzigen einfachen Begriffe sich begnügte und die ganze Erfahrung als Trug bei Seite ließ, konnten sich selbstredend nur Wenige verstehen. Das Denken schlug neue und weitere Wege ein, um die Räthsel zu lösen, die von der Erfahrung unablässig in derselben Weise aufgegeben werden. Man erkannte zuvörderst, daß aus dem wahrhaft Einen nie ein Vieles werden kann, und kam so wieder zu dem richtigen Satze, daß Vieles ist. Dabei hielt man jedoch andererseits fest, was die Eleaten gelehrt hatten, daß ein seine Qualität änderndes Seiendes ein Widerspruch, eine Unmöglichkeit ist, und dies trieb zu dem Versuche, alle in der sinnlichen Erfahrung gegebenen Veränderungen auf bloße Ortsveränderung, auf Bewegung zurückzuführen. Dies waren die gemeinschaftlichen Ansichten der sogenannten jüngern Ionischen Physiologen, an die sich dann bei den einzelnen einige Verschiedenheiten der Lehre anschlossen. Empedokles nahm viererlei Seiendes an, nämlich die vier Elemente, die er zuerst lehrte, indem er die Erde zu den übrigen schon vor ihm angenommenen hinzufügte; jedes einzelne bezog er aber noch auf Paare von Gegensätzen, das Feuer auf das Heiße und Trockne, die Luft auf das Heiße und Nasse, das Wasser auf das Kalte und Nasse und die Erde auf das Kalte und Trockne. Im Uebrigen dachte er die Masse jedes Elementes als theilbar und diese Theile als beweglich, über die Grenze der Theilbarkeit jedoch und die Form der kleinsten Theile bestimmte er nichts. Dagegen bezeichnete er die Art der Bewegung als Zusammenmischung und Entmischung, die Bewegung selbst faßte er aber nicht als etwas Ursprüngliches, sondern als die Wirkung von zwei verschiedenen Ursachen, die er Haß und Freundschaft nannte. So war Empedokles der erste, der dadurch, daß er den Begriff der Kraft erzeugte, wodurch der qualitativ unveränderliche und an sich selbst regungslose Stoff der Elemente in Bewegung gesetzt wird, den Grund zu der rein mechanischen Naturbetrachtung legte. Im Gegensatze hierzu lehrte Anaxagoras, der göttliche Verstand sei die einzige bewegende, ordnende, über den Stoff erhabene Kraft: er ist somit der Urheber der teleologischen Naturansicht, die zur Naturerklärung den Begriff des Zweckes oder die Intelligenz als Ursache heranzieht. Auch ließ Anaxagoras die Empedokleischen Elemente nicht als solche gelten, sondern nahm andere und zwar unbestimmt viele Elemente an, deren gleichartige Theile er Homöomerien nannte; diese Homöomerien dachte er als unendlich klein und sinnlich nicht wahrnehmbar, obwohl von allen möglichen verschiedenen Gestalten. Hiernach ließ es sich Empedokles wie Anaxagoras angelegen sein, vor Allem den von den Eleaten hervorgehobenen und geschärften Begriff des Seienden festzuhalten und außerdem die Qualität desselben zu bestimmen. Auch berücksichtigten beide die Ausdehnung des Realen, aber auf eine eigentliche Lösung der von Zeno darin gefundenen Schwierigkeiten ließen sich ausdrücklich erst die sogenannten Atomisten Leukipp und Demokrit ein, von denen der erstere ein Schüler des Zeno gewesen sein soll. Sie lehrten wie Anaxagoras, daß unbestimmt Vieles sei, die Qualität dieser Wesen sei aber keine sinnlich bekannte,

überhaupt keine angebbare, doch müsse sie als eine gleiche, als eine und dieselbe für alle gedacht werden. Um aber den Zenonischen Widersprüchen zu entgehen, müsse man annehmen, jedes Wesen habe eine bestimmte, aber ihrer Kleinheit wegen unangebbare, unsichtbare Größe; in Bezug auf diese sei und bleibe es aber stets ganz, unveränderlich, untheilbar, weshalb es mit dem Namen Atom zu bezeichnen sei. Die Gestalt und Größe der Atome soll verschieden sein; alle Atome sind aber gleich voll und dicht, absolut hart und undurchdringlich, daher sie verschiedene Schwere besitzen sollen. Im Gegensatz gegen sie als die festen und vollen Seienden dachten die Atomisten den Raum als das Leere, darum Nichtseiende, aber dennoch Vorhandene. In diesem Raume sollen dann die Atome wegen ihrer Schwere ursprünglich sich bewegen, und durch ihr Zusammentreffen, ihre Vermengung und Trennung die Dinge und den Schein ihres Entstehens und Vergehens, des Thuns und des Leidens hervorbringen. Die Unterschiede der Atome rücksichtlich ihrer Gestalt, ihrer Anordnung, ihrer Lage und Stellung im Raume sind die einzigen, die in Betracht kommen können, und es ist soweit alles auf quantitative Verhältnisse und auf mechanische Gründe zurückzuführen. Dabei wurde angenommen, daß die zusammengelagerten Atome stets noch durch leere Zwischenräume von einander getrennt, daß also alle gegebenen Körper porös wären. Für das Feuer und die Seelen nahm man kugelförmige Atome an, weil diese am leichtesten durch Alles hindurchdringen könnten. An diesen Grundlehren der Atomistik änderte Epikur fast nichts, außer daß er die Atome behufs des Zusammentreffens zu unbestimmten Zeiten und an unbestimmten Orten von der senkrechten Richtung ihrer natürlichen Bewegung um ein unendlich Kleines abweichen ließ, und zu ihnen noch körperliche Götter hinzufügte, die aber keine Einwirkung auf die Dinge ausüben, also der Herrschaft der mechanischen Nothwendigkeit und des Zufalls keinen Abbruch thun sollten.

Dieser erste Versuch, die Materie zu begreifen, ging also von der gegebenen Ausdehnung der Sinnendinge aus, und faßte die letzten Bestandtheile derselben, das wahrhaft Reale durch den Hauptbegriff des Seins. Dagegen kam das Philosophiren auch von seinem ersten Ausgangspunkte, der Veränderung der Dinge, zu einem Begriffe der Materie, aber so, daß dann auch die Veränderung, das Werden das Hauptmerkmal blieb. Im Alterthum sind es Plato und Aristoteles, die im Anschluß an Anaximander auf diesem letzteren Wege ihre Ansicht von der Materie ausbildeten. Nichtsdestoweniger sah Plato vollkommen deutlich ein, daß die qualitative Veränderung etwas Widersprechendes ist, weil man in ihr Sein und Nichtsein, Entgegengesetztes als Eins denken muß. Eben deshalb ließ er auch das sinnlich Wahrnehmbare nicht als wahrhaft Seiendes gelten, sondern das letztere könne als ein Unveränderliches, Sichselbstgleichbleibendes nur im Denken erkannt werden. Sieht man nun von dem Umstande ab, daß die Beschaffenheiten der Dinge sich in den vielen einzelnen Dingen bald so bald anders darstellen, d. i. dem Wechsel in näheren Bestimmungen unterworfen sind, faßt man sie dagegen in unveränderlichen Begriffen auf als etwas Unsinnliches und Unwandelbares, so sind diese wandellos gedachten übersinnlichen Qualitäten der Dinge, und in weiterer Ausdehnung auch die Arten und Gattungen der Dinge das wahrhaft Seiende, welches Plato die Ideen nennt. Dieser Vielheit der Seienden stellt er jedoch zur Erklärung der gegebenen veränderlichen Sinnenwelt den Anaximandrischen Stoff, den Aristoteles zuerst Hyle nannte, als Sitz der Veränderungen

gegenüber. Er ist gleichsam das unbehauene Bauholz, das Rohmaterial, aus dem Gott, der Gute, die Sinnendinge bildet. Die Ideen werden aber bei der Weltbildung nicht mit dem Stoffe gemischt, nicht in ihn hineingebildet, sondern Gott schaut nur wie ein Künstler die immer für sich bleibenden Ideen mit Geistesaugen an und bildet nach ihnen als Musterbildern die unvollkommen entsprechenden Sinnendinge: die Ideen sind und bleiben außerhalb der räumlichen Sinnenwelt. Plato fing daher zuerst an, den an sich qualitätslosen Urstoff der Sinnenwelt dem Raume gleichzusetzen, wodurch der Begriff des bloßen Stoffes in den der Materie, die durch die Ausdehnung charakterisirt ist, übergeführt wurde. Wie er sie sich aber hinsichtlich der Realität vorstellen sollte, das brachte ihn in Verlegenheit. Wäre sie geradezu und gänzlich als ein Nichtseiendes zu denken, so könnte man unmöglich einen Begriff von ihr haben, und keinerlei Beitrag zur Erklärung der veränderlichen Sinnenwelt von ihr erwarten. Als seiend konnte er sie aber auch nicht denken; sonst wäre sie eine Idee und als solche unveränderlich und für die Erklärung der Veränderungen abermals unbrauchbar. Daher entschloß er sich zu dem Ungedanken, sie als ein Zwischending, als ein Mittleres zwischen Seiendem und Nichtseiendem zu fassen, war aber ehrlich genug, zu gestehen, daß er sich dabei eher wie ein Phantasirender und Träumender vorkomme, denn wie ein wahrhaft erkennender Philosoph. Mit einem Worte, es ist ihm nicht gelungen, eine widerspruchsfreie Erklärung der Veränderungen aufzufinden. Aristoteles war in einem viel ausgedehnteren Maße als Plato ein Mann der Thatsachen, und er hätte sehr gern die uns umgebenden materiellen Dinge so, wie sie uns erscheinen, geradezu für real erklärt, wenn ihn daran nicht theils die Erbschaft der über diesen reflexionslosen Standpunkt mehrfach hinausgeschrittenen philosophischen Lehren, theils sein eigenes logisches Verfahren gehindert hätte. Wenigstens suchte er den Sinnendingen einen ungleich größeren Antheil an der Realität zu vindiciren, als ihnen nach der Platonischen Lehre zukommt. Die Platonische Ansicht, als hätten die Ideen oder das Seiende nur Existenz außer und über den Dingen, und als seien diese letzteren nur Nachahmungen von jenen, verwarf er gänzlich. Das Ideelle oder Reale in höchster Instanz, was er Eidos oder Form nannte, setzte er vielmehr in die Dinge hinein, und mit der Materie geeinigt, so daß die Dinge Producte oder Ganze sind, zusammengesetzt aus Hyle und Eidos oder Materie und Form. Dabei nannte Aristoteles beide Factoren seiende, aber er nahm Sein nicht mehr in der metaphysischen Strenge der Eleaten und Plato's, sondern in der schwankenderen unbestimmten Bedeutung des gemeinen unphilosophischen Sprachgebrauchs, der Unselbstständigkeit und Veränderlichkeit nicht vom Sein ausschließt. Die Materie bezeichnete er nämlich als das der Möglichkeit nach, potentiell Seiende, die Formen als das der Wirklichkeit nach, aktuell Seiende. Die eine, wie die andere waren ihm Ursachen der sinnlichen Dinge, die Formen Ursachen der bestimmten Existenz und Individualität der Dinge, die Materie Ursache ihrer Veränderlichkeit, vermöge deren die Dinge entstehen und vergehen, ihre Eigenschaften, ihre Größe und ihren Ort wechseln. Die Materie ist als das Princip, welches dem Werden und der Veränderung der Dinge zu Grunde liegt (ὑποκείμενον), an sich unbestimmbar und unerkennbar: sie ist weder ein bestimmtes Ding noch eine Beschaffenheit, noch eine Größe, sondern nur das zu dem Genannten und seinem Gegentheil dem Vermögen nach Befähigte; sie ist nur die mögliche Körperlichkeit mit allen möglichen damit zusammenhängenden Prädikaten, ein Inbegriff von Ver-

mögen, die erst noch auf die Kräfte warten, durch welche sie in Wirklichkeiten übergeführt werden. Dieses allem Veränderlichen zu Grunde liegende reale Mögliche, das nach dem Angeführten nicht etwas sinnlich Wahrnehmbares ist, nannte Aristoteles die erste Materie im Unterschied von dem einem bestimmten Dinge zukommenden sinnlich wahrnehmbaren Stoffe, der wie das Metall und das Holz im Verhältniß zur Statue und zum Stuhle eine abgeleitete, secundäre Materie ist. Nach dem aufgestellten Begriffe liegt es nämlich in der Natur der ersten Materie, daß sie als das Princip der Wandelbarkeit von selbst schon, auch noch ohne auf sie einwirkende formbildende Principien, in die Reihen ihrer Möglichkeit übergeht und fortschreitet. Aristoteles sah nun als die allgemeinsten Gegensätze dieser Möglichkeiten das Heiße und das Kalte, das Nasse und Trockne an, und indem er daraus die bei Empedokles angeführten Combinationen bildete, sah er darin die Principien und Ursachen der Empedokleischen Elemente, die er demnach schon als Erzeugnisse des allgemeinen noch formlosen Elementarprocesses der ersten Materie, als zweite Stufe der Materialität oder Körperlichkeit ansehen mußte. Diesen Elementen schrieb er eigene natürliche Bewegungen zu: das Feuer bewegt sich nach oben, die Erde nach unten, die Luft gleichfalls nach oben, aber weniger als das Feuer, und das Wasser gleichfalls nach unten, aber weniger als die Erde. Nach Analogie kam dann Aristoteles noch darauf, auch für die andere Hauptbewegung, nämlich für die im Kreise, ein materielles Substrat zu setzen. Er nannte dasselbe den Aether, und ließ aus diesem fünften Elemente (quinta essentia), dem jede Veränderung außer der stetigen Kreisbewegung abgeht, den Himmel und die Fixsterne, wie sie materiell sind, bestehen. So entsteht durch den Elementarproceß alle stoffliche Masse, die aber immer noch unbestimmt und ohne geschlossene Gestaltung ist, mit einem Worte alles Unorganische. Das Belebte, die Pflanzen und Thiere entstehen erst durch Hinzutreten der Formen zu der abgeleiteten und vorbereiteten Materie: die Formen sind die gestaltenden, belebenden, beseelenden Kräfte des Materiellen. Ueber den Raum selbst und dessen Stetigkeit hat Aristoteles zwar Untersuchungen angestellt, die als die ersten in ihrer Art sehr beachtenswerth sind. Allein er dachte den Raum nur als die Umgrenzung, als die Hülle des Körpers, von dem man sagt, er sei im Raume, nicht als den Zwischenraum zwischen seinen Grenzen. Indem daher nach seiner Ansicht immer nur das Umgrenzende die Räumlichkeit des Umgrenzten bestimmt, gewann auch bei Aristoteles der Begriff der Materie noch nicht die charakteristische Ausbildung, wonach sie als etwas durch den Raum sich Erstreckendes, als solide, den Raum ausfüllende Masse gedacht wird. Die nämliche Bestimmung erscheint auch bei Aristoteles noch als etwas Nebensächliches. Er ließ sich nicht blos von der Thatsache der Veränderung treiben, sondern er verwendet auch ihren Begriff nur unter einer leichten Verhüllung zur Bestimmung des Realen, wozu er die Hyle unbedenklich mit rechnet, da er an diesen Begriff von Plato her gewöhnt war. Allerdings nennt er, wie schon bemerkt, die Materie und die Formen Seiende. Ist aber die Materie nur das der Möglichkeit nach Seiende, so ist sie, genau gedacht, insoweit eben kein Seiendes, als sie noch ein Unfertiges ist. Sie ist aber durch und durch ein Unfertiges, ein blos Mögliches; ihr ganzes Wesen besteht in Werden und Umwandlung: und das ist der Begriff, der sie charakterisirt. Die Formen, die Aristoteles als die höchste Stufe des Realen ansieht, bezeichnet er selbst schon offener als das der Wirklichkeit, der Energie nach Seiende,

d. i. als Wirkendes, Thätiges, Veränderndes. So hat Aristoteles durch Verbindung des Begriffspaares Möglichkeit und Wirklichkeit mit dem Sein, diesen letzteren Begriff so weit abgestumpft und umgeändert, daß er für ein schärferes Denken fast ganz im Werden aufgeht. Gleichwohl ist seine Fassung der angegebenen Begriffe für lange Zeit die maßgebende, und theilweise bis auf den heutigen Tag die Grundlage weiterer Umbildungen geblieben. Namentlich beherrschte seine Vorstellungsweise das Mittelalter, und gab der Scholastik Veranlassung zu den Streitigkeiten, ob die Entstehung der Dinge als eine Bestimmung der Materie durch die Form (contractio materiae per formam) oder als eine Entwickelung der Form aus der Materie, in welcher sie der Möglichkeit nach schon liege (eductio formae ex materia) anzusehen sei, und überhaupt zu den Fragen und Meinungen über das sogenannte Princip der Individuation. Die Lehre von den vier Elementen erhielt sich bis ins 16. Jahrhundert nach Chr., wo die ersten Versuche auftauchen, die chemischen Elemente im Sinne der Neueren zu bestimmen. Auf den Aristotelischen Begriff der Materie und die Empedokleisch-Aristotelische Lehre, daß jedes Element zwei Gegensätze in sich vereinige, konnte sich sehr wohl die Meinung stützen, als könne ein Element in das andere übergehen, und die Hoffnung, die Metalle in einander verwandeln zu können.

Als mit dem Verfall der Scholastik auch die Philosophie restaurirt wurde, wurde die Atomistik in England durch Hobbes, in Frankreich durch Gassendi wieder reproducirt, von letzterem aber vielfach vermischt mit Aristotelischen Begriffen über die verschiedenen Arten der Ursachen und spiritualistisch-christlichen Lehren über Gott als Geist und Weltschöpfer und über immaterielle vernünftige Seelen. Wohl mehr als durch diese Denker wurde das neue Emporkommen der Atomistik gefördert durch die Lehre des Cartesius, obschon er sich principiell gegen die Existenz von Atomen erklärte. Außer Gott dem ungewordenen Wesen nahm er zwei entgegengesetzten Classen von erschaffenen Wesen an, die ausgedehnte Substanz oder die Materie und die unausgedehnte Substanz oder die Seelen, die Geister. Die Natur des Materiellen besteht nach ihm nicht in der Härte, in der Schwere, in der Farbe oder sonst in einer sinnlichen Eigenschaft, sondern lediglich in der Ausdehnung nach Länge, Breite und Tiefe, so daß der Raum von der Materie nicht in der That, sondern nur für unsere Auffassung verschieden sein soll. Darans zog er dann die Folgerung, daß es keinen leeren Raum giebt, sondern daß die eine unendlich ausgedehnte Materie überall im Universum eine und dieselbe gleichartige ist, daß es aber auch keine Atome giebt, sondern jedes Ausgedehnte immer noch weiter theilbar ist. So behauptet er zwar die unendliche Theilbarkeit der Materie, sagt aber, sie sei für den endlichen menschlichen Verstand unbegreiflich, und spricht in seiner Kosmologie und Physik immer nur von größeren oder kleineren Massentheilchen. Außer der Theilbarkeit kommt der Materie noch Beweglichkeit in ihren Theilen zu. Aber die Bewegung selbst ist keine Thätigkeit der Materie, sondern ein Modus, der eben so wie die Ruhe der Materie von Gott anerschaffen ist und erhalten wird. Verschiedene Körper können sich nicht einmal Bewegung mittheilen, d. h. es bewegt kein Körper den anderen, und wirkt überhaupt kein Körper auf den anderen, sondern alle bewegende Kraft ist Gottes, der bald hier, bald dort wirkt. Indem nun Descartes aus theilbarer Materie, Bewegung und Ruhe die Körperwelt im Großen und Kleinen zu erklären suchte, verwarf er die Erklärung aus Zweckursachen gänzlich und huldigte vollständig dem

Mechanismus, der allein eine von Bewegungsursachen abhängige Zusammensetzung und Lage von mehr oder minder zusammengesetzten Körperchen kennt. Leibniz wollte nun zwar in der Erforschung der Körperwelt den Mechanismus nicht aufgegeben wissen, aber einerseits konnte er der Gleichstellung von Materie und bloßer Ausdehnung nicht zustimmen, andererseits suchte er tiefere Gründe für den Mechanismus und die Gesetze der Bewegung. Ausdehnung sei nur Wiederholung oder continuirliche Vervielfältigung und Coexistenz von Theilen. Sie setzt den Begriff eines Etwas, welches wiederholt oder ausgedehnt ist, voraus, also eine Substanz oder vielmehr eine Vielheit von Substanzen. Denn jedes ausgedehnte Ding kann als ein zusammengesetztes nur gedacht werden, wenn man den Gedanken des Einfachen voraussetzt. Auch besitzt jeder materielle Körper außer der Ausdehnung noch Widerstand, Undurchdringlichkeit, d. h. er zeigt Thätigkeit und Leiden. Es müssen also Principe der Thätigkeit angenommen werden, wirkende Substanzen im Ausgedehnten. So kam Leibniz auf seine Monaden, worunter absolut einfache, unausgedehnte Wesen, reale Einheiten verstanden werden, die einerseits Bedingungen des Zusammengesetzten oder Materiellen sind, andererseits Quellpunkte oder Träger der mechanischen und physischen Thätigkeiten. Dabei nahm er an, daß Sein und Wirken oder wenigstens das Streben darnach identisch sind; was nicht thätig, das ist auch nicht. Jede Monade ist der Heerd nachhaltiger Thätigkeiten. Obgleich hiernach die Monaden keine mathematischen oder blos formalen Punkte sind, sondern reale, so dachte Leibniz die materiellen Körper doch nicht als Complexionen, als Zusammensetzungen aus Monaden. Die Körper bestehen nach ihm nicht aus Monaden als ihren einfachen Elementen: sie gehen blos in das Zusammengesetzte ein, das Materielle ist in unendlich viele Theile nicht blos theilbar, sondern wirklich getheilt. Auch setzen die Monaden als thätige Kräfte ein leidendes Substrat ihrer Thätigkeit voraus. Wie nun Leibniz seine Monadenlehre nur für eine Verbesserung und Erneuerung der aristotelisch scholastischen Lehre von der substantiellen Form ausgab, so verband er damit noch die aristotelische Lehre von der ersten Materie, als dem an sich unthätigen leidenden Substrat der monadischen Thätigkeit, die durch die Materie beschränkt wird. So ist, abgesehen von Gott, der durch keine Materie beschränkte reine Thätigkeit (actus purus) ist, keine Monade ohne Materie, und die materiellen Dinge sind Resultate aus vielen Monaden mit erster Materie, also zwar an sich nicht das wahrhaft Reale, jedenfalls aber wohlbegründete und geordnete Phänomene. Daß dies die wahre Lehre Leibnizens ist, dafür spricht auch noch dies, daß er ganz aristotelisch nur dem Belebten und Beseelten eine herrschende und einigende Centralmonade zuschreibt, alles Unbelebte ohne eine solche nur als Aggregat denkt. Die durch eine beherrschende Monade beseelten Pflanzen und Thierleiber sind Organismen, die ins unendliche wieder aus kleineren Organismen bestehen; den Organismus als Ausgedehntes aber stellte sich Leibniz immer wieder als einen feineren und feineren Mechanismus vor. Schließlich muß jedoch bemerkt werden, daß man bis auf die neueste Zeit allgemein angenommen hat, Leibniz kenne nur Monaden. Darum suchte man denn bei Leibniz vergebens nach einer bestimmten Antwort auf die Frage, wie er aus seinen raumlosen Monaden das räumlich Ausgedehnte construirt habe. Allerdings finden sich darüber bei ihm manche verschiedene Angaben, die nur noch fragmentarischer und unvereinbarer erscheinen, wenn man die aristotelische Lehre von der Materie nicht als im Wesentlichen von Leibniz acceptirt voraus-

setzt. Indessen darf man auch so vermuthen, daß **Leibniz** mit seinem Nachdenken über die Materie nicht zu einem ihm selbst, geschweige denn Anderen genügenden Abschlusse gekommen ist.

Um so leichter mußte es **Kant** werden, von seinem kritischen, halb idealistischen Standpunkte aus die Materie nur als Erscheinung zu betrachten und lediglich die Kräfte in Untersuchung zu ziehen, die als Bedingungen dieser Erscheinung anzunehmen seien. Die Materie, lehrt er, erfüllt den Raum nicht durch ihre bloße Existenz, sondern durch repulsive Kräfte aller ihrer Theile; sie ist ins Unendliche theilbar, und zwar in Theile, deren jeder wiederum Materie ist. Aber die Materie würde durch ihre repulsive Kraft, welche den Grund der Undurchdringlichkeit enthält, allein, und wenn ihr nicht eine andere bewegende Kraft entgegen wirkte, sich ins Unendliche zerstreuen. Es erfordert daher alle Materie zu ihrer Existenz zweitens eine zusammendrückende Kraft, Attractionskraft, die eben so ursprünglich und eine zu ihrem Wesen gehörige Grundkraft ist, wie die repulsive. Auch die anziehende Kraft, allein vorausgesetzt, würde alle Theile der Materie in einen mathematischen Punkt zusammenziehen, der Raum würde leer, mithin ohne alle Materie sein. So zeigte **Kant**, daß nur die zwei ursprünglichen bewegenden Kräfte der Abstoßung und Anziehung im Conflict mit einander einen bestimmten Grad der Erfüllung des Raumes, mithin Materie möglich machen. Die aller Materie wesentliche Anziehung ist eine unmittelbare Wirkung derselben auf andere durch den leeren Raum, und erstreckt sich von jedem Theile derselben auf jeden anderen unmittelbar ins Unendliche. Die Wirkung von der allgemeinen Anziehung, die alle Materie auf alle in allen Entfernungen unmittelbar ausübt, heißt die Gravitation; die Bestrebung, in der Richtung der größeren Gravitation sich zu bewegen, ist die **Schwere**. Die Wirkung von der durchgängigen repulsiven Kraft der Theile jeder gegebenen Materie heißt dieser ihre ursprüngliche **Elasticität**. Diese also und die Schwere machen die einzigen a priori einzusehenden allgemeinen Charaktere der Materie, jene innerlich, diese in äußeren Verhältnissen, aus; denn auf den Gründen beider beruht die Möglichkeit der Materie an sich. Zusammenhang, wenn er als die wechselseitige Anziehung der Materie, die lediglich auf die Bedingung der Berührung eingeschränkt ist, erklärt wird, gehört nicht zur Möglichkeit der Materie überhaupt, und kann daher a priori als damit verbunden nicht erklärt werden. Diese Eigenschaft würde also nicht metaphysisch, sondern physisch sein. Diese Lehre, daß alles Reale der Gegenstände äußerer Sinne als bewegende Kraft angesehen werden müsse, bezeichnet **Kant** als **Dynamik**, **dynamische Naturphilosophie**, ohne jedoch unter diesen ursprünglichen Kräften der Attraction und Repulsion das Reale oder Seiende im strengen Sinne verstehen zu wollen. Vielmehr ließ er dies, wie in seiner ganzen Lehre, so auch in der von der Materie ganz im Dunkel liegen, weil nach seiner philosophischen Ansicht überhaupt überall nur Erscheinungen von uns zu erkennen sind, gemäß und vermittelst der Begriffe, die unser Verstand ursprünglich besitzt. Nach den Verstandesbegriffen der Causalität und Wechselwirkung reducirt er nun die Erscheinungen des Materiellen zunächst auf die beiden Kräfte der Attraction und Repulsion als ihre nächsten Ursachen, aber als etwas selbstständig Bestehendes dürfen diese Kräfte in **Kant's** Sinne doch nicht angesehen werden. **Kant** hat nur die wirklichen Träger der Kräfte, die **Leibnizischen** Monaden, als etwas seiner Meinung nach Unerklärbares bei Seite gelassen. Der bedächtige **Kant** und sein halber Idealismus

wurden sehr rasch überboten durch den stürmischen Fichte und den phantasiereichen Schelling. Fichte erklärte das Ich für das einzige Reale, weil er die nothwendigen Handlungsweisen glaubte nachweisen zu können, durch welche das Ich dazu komme, sich selbst den Schein einer objectiven, materiellen Welt einzubilden. Er faßte nämlich das Ich als unbeschränkte Thätigkeit, als absolutes Thun auf, das eben darum sich selber setze, aber um zum Bewußtsein seiner selbst zu kommen, sich zugleich als Anstoß und als Schranke seiner Thätigkeit das Nichtich, d. h. die Welt der Objecte, die Natur gegenüberstellen müsse. Eine derartige idealistische Ansicht, die, um auch nicht die geringste Erinnerung an das Seiende und Beharrende übrig zu lassen, das Ich nicht als Träger der Thätigkeit, nicht als Thätiges, sondern nur als abstractes Thun zu denken erlaubt und so weit den Begriff des absoluten Werdens obenan stellt, konnte um so weniger der Naturforschung eine theoretische Unterlage bieten, als Fichte sich vorzugsweise im geistigen Gebiete bewegte, und über jenen abstractesten Begriff der Natur und des Materiellen kaum hinauskam. Darum machte auch Schelling die Naturphilosophie eine Zeitlang zu seiner Specialität, ohne jedoch den Idealismus aufzugeben. Er stellte nur allgemeiner eine Identität des Subjectiven und Objectiven, des Idealen und Realen, des Denkens und Seins, des Geistes und der Natur an die Spitze der Philosophie, und setzte der Ich- oder Geistesphilosophie die Naturphilosophie als die andere nothwendig gleichberechtigte Seite der ganzen Philosophie entgegen. Die materielle Natur wird nur als relative Identität des Realen und Idealen angesehen, so, daß das reale Princip darin vorherrscht, und die Naturphilosophie hat die Aufgabe, das ideale Princip in dem realen überall aufzuzeigen und aus dem realen allmälig zu entwickeln, da jenem im Grunde doch eine höhere Dignität beigelegt wird. Unter Anlehnung an Kant gab Schelling eine Construction der Materie, die von der Einsicht in Kant's Irrthum ausging. Läßt man nämlich, wie aufgegeben wird, Attractiv- und Repulsivkraft als conträr entgegengesetzte auf einander wirken, so sind sie der Quantität nach entweder gleich oder ungleich. Im ersten Falle wird das ganze Quantum der Repulsivkraft durch die gleich starke Attractivkraft vollständig gehemmt, und es geschieht nichts. Im zweiten Falle, wenn die Repulsivkraft die stärkere ist, wird das der Attractivkraft entsprechende Quantum derselben gehemmt, und der Ueberschuß verliert sich im Unendlichen; ist dagegen die Attractivkraft überwiegend, so ereignet sich das Umgekehrte; beidemal geschieht wieder nichts. Das erkannte Schelling; darum nahm er die Schwerkraft als dritte synthetische Kraft hinzu, welche die unverträglichen zusammenhalten, und in der sich die beiden entgegengesetzten so durchdringen sollen, daß das ganze Product in jedem Punkte Attractiv- und Repulsivkraft zugleich ist. Dadurch soll die Construction der Materie erst vollendet werden. In der That aber wird nur noch mehr Widersprechendes hinzugebracht, das durch die weiteren Specialisirungen und die Analogien mit dem Magnetismus, der Elektricität und dem Chemismus nicht gelöst, sondern mit Phantasien überwuchert wird. Hegel wollte nur methodisch den absoluten Idealismus durchführen: das Denken, der Begriff, die Idee oder vielmehr der Proceß, das immanente Werden des Begriffs ist das allein Wirkliche und Wahre, das im ewigen Laufe seiner Entwickelung sich aus sich entläßt als das Andere seiner selbst, d. h. als Natur oder Materie, nur um sich aus diesem Anderssein wieder in sich selbst zurückzunehmen zum Geiste. Diese dreieinige Denkbewegung ist keine andere als die des Fichte'schen

Ich, welches sich, das Nichtich und die Identität von Subject und Object setzt. Durch keines dieser idealischen Systeme ist das Problem der materiellen Existenz seiner Lösung näher gebracht. Da sie Einheit des Realen lehren, und dieses als absolutes Werden oder Thun fassen, und in keiner Weise durch den Begriff des Seins denken, sind sie es auch nicht im Stande.

Im Kampfe wider die idealistischen Systeme seiner Zeit hat Herbart eine realistische Lehre aufgestellt, die eine unbestimmte Vielheit des Realen behauptet, und dieses durch den strengen Begriff des Seienden gedacht wissen will. Jedes wahrhaft Seiende ist ein unaufhebliches, unveränderliches, unausgedehntes, einfaches Wesen. Es ist erlaubt, die Qualitäten der einfachen Wesen (Elemente) als gleich, als rein verschieden, als conträr entgegengesetzt anzunehmen, wie es zur Erklärung der gegebenen Erscheinungen, die aus ihnen resultiren, nöthig ist. Im Uebrigen sind die einfachen Wesen ihrer Qualität nach unerkennbar. Sind Wesen von theilweise entgegengesetzter Qualität zusammen, so kann dieser wechselseitige Gegensatz nicht ohne Folgen sein, sondern jedes Wesen erhält sich selbst in seiner eigenthümlichen Qualität, d. h. es wird in einen inneren Zustand des Widerstandes, der Thätigkeit gesetzt, welche unter gewissen Umständen ein unvollkommenes Zusammen oder eine partiale Durchdringung der Elemente zur Folge hat. Diesen Begriff des unvollkommenen Zusammen benutzt Herbart, um von da aus zur Bildung eines Moleculs fortzuschreiten und überhaupt alle die Bedingungen zu entwickeln, aus denen sich die Erscheinung des Materiellen für ein wahrnehmendes und vorstellendes Subject als Folge ergiebt. Thätigkeiten und Kräfte sind nach dieser Lehre das Secundäre, welches sich erst unter Umständen in den Wesen (durch das Zusammen derselben) erzeugt, sie selbst aber in ihrer Qualität nicht verändert. Irren wir nicht, so sind hier zur Anknüpfung für die Naturforschung brauchbare und haltbare Gedanken geboten.

In neuerer Zeit hat Fechner *), der gleichfalls einfache Wesen als Grundelemente der Materie anerkennt, gegen die Lehre Herbart's verschiedene Einwendungen erhoben, die jedoch theils auf Mißverständnissen beruhen, theils darin ihren Grund haben, daß Fechner seinen eigenen atomistischen Principien nicht immer in consequenter Weise Rechnung trägt. Manche seiner Einwendungen gelten sogar Ansichten, die der Lehre Herbart's geradezu widersprechen oder doch zu ihr in keiner nothwendigen Beziehung stehen. Die einfachen Wesen sind bei Herbart nicht, wie Fechner fälschlich berichtet, Etwas (sog. Schemens) hinter dem Gegebenen, sondern die letzten Elemente desselben, durch deren Thätigkeiten alle Erscheinungen der Sinnenwelt bedingt sind, so daß diese außer den Elementen, abgetrennt von denselben, nicht gedacht werden können. G. Schilling.

II. Ansicht über das Wesen der Materie vom Standpunkte der heutigen Physik.

Es ist Thatsache, daß wir die Körperwelt zunächst auf dem Wege sinnlicher Wahrnehmung kennen lernen. Jeder Körper erscheint uns als eine Complexion sinnlicher Merkmale, die aus gewissen Wirkungen desselben auf unsere Sinnesorgane resultiren. Die Kenntniß dieser Merkmale, welche mancherlei

*) Ueber physikal. und philosoph. Atomenlehre. Leipzig 1855. Vergl. W. Drobisch in Zeitschrift für Philosophie und philos. Kritik von H. Fichte rc. Neue Folge Bd. XXVIII. Heft 1 (Halle 1856) S. 52 ff.

qualitative und quantitative Unterschiede verrathen, erweitert sich durch vergleichende Beobachtungen und Versuche, und in demselben Maße erweitert und verfeinert sich auch unsere Kenntniß der verschiedenen Körper, von denen jeder durch eine bestimmte Gruppe von Merkmalen charakterisirt ist, die ihn leicht von anderen unterscheiden läßt.

Wenn aus einer solchen Gruppe einzelne Merkmale verschwunden und statt deren andere in derselben aufgetreten sind, so hat der betreffende Körper eine Veränderung erfahren. Diese Veränderung ist nun meist, wie Beobachtungen und Versuche mit Bestimmtheit lehren, eine Folge davon, daß der veränderte Körper mit einem oder mit mehreren anderen Körpern auf gewisse Weise zusammengetroffen ist. Die Chemie bezeugt durch unzählige Thatsachen, daß, wenn ein Körper oder Stoff eines seiner Merkmale mit einem neuen vertauscht, dies die Folge seines Zusammentreffens mit einem anderen Stoffe ist, oder die Folge davon, daß der Körper aus seiner bisherigen Gemeinschaft mit gewissen Stoffen heraus- und in eine neue Gemeinschaft mit anderen Stoffen eintritt. So können zwei (oder auch mehrere) Stoffe, die entgegengesetzte Eigenschaften zeigen, wie z. B. Sauer- und Wasserstoff, wenn sie unter gehörigen Umständen zusammentreffen, einen neuen Körper bilden, dessen Eigenschaften sehr merklich verschieden von denen der Bestandtheile sind. Dies zeigt mit Evidenz jede chemische Verbindung, die überhaupt eine Vereinigung ungleichartiger Stoffe zu einem gleichartigen Ganzen ist. Die Veränderung, welche hier der eine Stoff erfährt, hat ihre Ursache in dem Zusammensein mit dem anderen, und so umgekehrt. In dem Augenblicke, wo diese Veränderung stattfindet, oder eine bestimmte Gemeinschaft der verschiedenartigen Stoffe sich herstellt, geht zwischen den letzteren etwas vor, das sich durch gewisse, meist vorübergehende Erscheinungen, wie Wärme und wohl auch Licht, bemerklich macht. Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, daß zwischen den Bestandtheilen dieser Stoffe auch dann noch etwas vorgeht, nachdem die Verbindung derselben zu einem neuen Ganzen bereits geschehen ist. Und dieser Vorgang, welcher dasselbe sein wird mit dem, was man durch das Wort „Wechselwirkung" bezeichnet, ist es, wodurch die Gemeinschaft der Stoffe unter einander und die Existenz des aus ihnen bestehenden Körpers so lange erhalten wird, bis sich neue chemische Einwirkungen von außen in überwiegender Stärke geltend machen. Die Erfahrung lehrt aber, daß die ungleichartigen Stoffe während ihrer Gemeinschaft mit einander ihre eigenthümliche Qualität keineswegs einbüßen, sondern daß sie vielmehr mit allen ihren früheren Eigenschaften wieder unversehrt daraus hervorgehen. Doch ist es allerdings möglich, daß ein Stoff durch seine Verbindung mit anderen in gewisse innere Zustände geräth und dadurch, ohne wesentliche Veränderung seiner ursprünglichen Qualität, Eigenschaften gewinnt, die ihm vorher nicht zukamen. Es gehören hierher diejenigen Modificationen der chemischen Grundstoffe, welche man unter dem Ausdrucke Allotropie (von ἄλλος, anders, und τροπή, Wendung) zusammenfaßt.

Die chemischen Vorgänge oder Processe sind also, wenn man sie lediglich von ihrer empirischen Seite auffaßt, dadurch ausgezeichnet, daß die Gruppen sinnlicher Merkmale, welche bestimmte Körper oder Stoffe charakterisiren, einen Wechsel darbieten, der seine Ursache in der Verbindung und Trennung dieser Stoffe hat. Von denselben zu unterscheiden sind die mechanischen und zum großen Theil auch die physikalischen Vorgänge, bei denen außer der Veränderung der Form, die häufig

eine nur vorübergehende ist, keine andere, namentlich keine sog. qualitative Veränderung vorkommt. Keines der sinnlichen Merkmale, durch welche zusammengenommen wir den Körper erkennen, geht hier verloren. Die Erscheinung, welche wir wahrnehmen, resultirt aus gewissen Bewegungszuständen, in welche entweder der ganze Körper oder auch nur die einzelnen Theilchen desselben gerathen, so daß in diesem letzteren Falle der Körper selbst keine merkliche Ortsveränderung erfährt. So werden die Erscheinungen des Schalles durch eine schwingende Bewegung bewirkt, welche die materiellen Theilchen um ihre Gleichgewichtslage vollführen. Solche Erscheinungen dauern so lange als die sie bedingende Bewegung der Theilchen; sie beginnen und verschwinden mit derselben.

Von welcher Art aber auch die Veränderung sein mag, welche ein Körper erfährt, immer erscheint er uns als ein Ding, welches den Raum erfüllt und in ihm ausgedehnt ist. Das den Raum Füllende und insofern in ihm Ausgedehnte nennt man überhaupt Materie; die letztere aber als bloße träge Masse gedacht, die nur durch etwas anderes, außer ihr Befindliche zu irgend einer Thätigkeit erregt werden könne, wird Stoff genannt. Die Materie ist nun freilich mehr als bloßer träger Stoff. Jedes materielle Theilchen, das man in einem und demselben Körper unterscheiden kann, sucht die Raumstelle, die es im Verhältniß zu den übrigen Theilchen einnimmt, zu behaupten. Wird es durch irgend eine Ursache aus seiner Gleichgewichtslage verrückt, so verhalten sich dabei die übrigen Theilchen nicht gleichgiltig, sondern es erfahren auch diese eine mehr oder weniger beträchtliche Ortsveränderung. Zwischen den verschiedenen Theilchen eines und desselben Körpers besteht also ein gewisser Zusammenhang, vermöge dessen sie ihre gegenseitigen räumlichen Stellungsverhältnisse aufrecht zu erhalten suchen. Und dies ist dasjenige, was man die Cohäsion eines Körpers nennt, womit man eben sagen will, daß die gleichartigen Theilchen eines und desselben Körpers nicht gleichgiltig neben einander liegen, sondern daß sie einen wechselseitigen Einfluß auf einander ausüben. Diesen Einfluß, welcher die Theilchen nöthigt, in einer bestimmten gegenseitigen Lage zu verharren, erfährt man deutlich an dem Widerstande, den ein starrer Körper dann leistet, wenn man ihn durch Ziehen zu zerreißen sucht. Der Körper erfährt dann in der Richtung des Zuges eine Verlängerung, seine Theilchen rücken weiter auseinander, bis an irgend einer Stelle die wirkliche Trennung erfolgt. Ueberschreitet aber die ziehende Gewalt eine gewisse Grenze nicht, so kehren die Theilchen, nach Wegfall dieser äußeren Gewalt, wieder in ihre frühere Gleichgewichtslage zurück. Wird dagegen ein Körper einem äußeren Druck unterworfen, so rücken die Theilchen in der Richtung des letzteren einander näher; der Körper verkürzt sich. Aber auch dies geschieht nur mit Ueberwindung eines bestimmten Widerstandes von Seiten der Körpertheilchen, welche sich wieder so weit von einander zu entfernen streben, als zur Rückkehr in ihre normale Position nöthig ist. Die Theilchen der starren Materie haben also sowohl bei der Ausdehnung als auch bei der Zusammendrückung derselben das Bestreben, in ihre gewöhnliche Gleichgewichtslage mit einer gewissen Gewalt zurückzukehren; und hierin besteht das, was man die Elasticität der Materie nennt, während man unter Cohäsion nur im Allgemeinen die Kraft versteht, womit die Theilchen eines und desselben Körpers zusammenhängen.

Wenn demnach die Materie ausgedehnt wird, so werden ihre Theilchen, indem sie widerstreben, über die gewöhnliche Gleichgewichtslage hinaus von einander

entfernt; sie suchen sich der letzteren wieder zu nähern, und dies scheint die Folge einer wechselseitigen Anziehung zu sein. Bei der Compression werden umgekehrt die Theilchen der Materie über ihre Gleichgewichtslage hinaus einander genähert; sie streben wieder aus einander, und dies scheint die Folge einer gegenseitigen Abstoßung zu sein. So können Anziehung und Abstoßung leicht als Grundkräfte der Materie erscheinen, welche bei der Constitution der verschiedenen Körper in ein gewisses Gleichgewichtsverhältniß treten, das aber in Folge äußerer Einwirkungen bald zu Gunsten der einen, bald zu Gunsten der anderen Kraft abgeändert werden kann, so daß z. B. bei dem gasförmigen Aggregatzustande eines Körpers lediglich die abstoßende Kraft vorwaltet. Der Begriff der Materie erscheint hiernach als zusammengesetzt aus den Begriffen von Stoff und Kraft, so jedoch, daß die letzteren nur in der Abstraction von einander getrennt werden können. In dem erfahrungsmäßig, auf Grund bestimmter Thatsachen, erzeugten Begriffe der Materie sind beide unzertrennlich mit einander verbunden, so daß der eine ohne den anderen gar nicht gedacht werden kann.

Unter dem Worte Trägheit versteht man in der Mechanik die Thatsache, daß ein Körper nicht von selbst aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung, und nicht von selbst aus Bewegung zur Ruhe übergehen kann. Wenn aber ein Körper aus dem einen Zustande in den anderen übergeht, so verhält er sich dabei keineswegs ganz passiv, sondern er übt dabei eine bestimmte Wirksamkeit aus. Trifft z. B. ein ruhender Körper mit einem bewegten zusammen, so überträgt sich die Geschwindigkeit des letzteren auf den ersteren, welcher eine Geschwindigkeit annimmt, die im umgekehrten Verhältniß zu seiner Masse steht. Beide Körper machen sich im Moment ihres Zusammentreffens den Raum streitig, indem zunächst der bewegte in den Raum des ruhenden einzudringen sucht; dieser wirkt aber mit einer gewissen Kraft zurück, bis beide eine gemeinschaftliche Geschwindigkeit erlangt haben. Niemals verhält sich ein Körper, der eine bestimmte Veränderung erfährt, sei diese welche sie wolle, lediglich leidend. Der Unterschied zwischen Activität und Passivität ist hier völlig illusorisch, und kann nur eine gewisse relative Bedeutung haben. Man kann einen Körper, auf den man gerade die Aufmerksamkeit richtet, als leidend betrachten, wenn er durch das Zusammenkommen mit einem anderen Körper eine Veränderung erfährt, und zwar um dessentwillen als leidend, weil er sich diese Veränderung muß gefallen lassen. Der andere Körper, dem man die Ursache dieser Veränderung mit Recht zuschreibt, erscheint dann als thätig, obwohl er ebenfalls der Einwirkung jenes Körpers ausgesetzt und insofern leidend ist. Kurz, beide Körper sind activ und passiv zugleich. Und dies gilt allgemein, da man es bei allen mechanischen, physikalischen und namentlich auch bei allen chemischen Processen deutlich genug wahrnehmen kann. So erleidet z. B. der Wasserstoff eine bestimmte Veränderung, wenn er auf gewisse Weise mit dem Sauerstoff zusammentrifft, aber eben so sehr erscheint auch dieser durch jenen verändert; beide bilden in ihrem Zusammensein und der dadurch begründeten Wechselwirkung einen neuen Körper, das Wasser, dessen Eigenschaften, verschieden von denen der beiden Bestandtheile, sowohl durch die Thätigkeit des Sauerstoffs als auch durch die des Wasserstoffs bedingt sind.

Die Materie ist theilbar, und es fehlt nicht an Beispielen, welche zeigen, daß die Theilbarkeit der Materie weit über die Grenzen sinnlicher Wahrnehmung hinausgeht. Nimmt man nun an, wie dies von der sogenannten dynamischen

Ansicht geschieht, daß die Materie den Raum continuirlich erfülle, so birgt jeder endliche Körper eine unendliche Fülle von Theilen in sich. Die Theilbarkeit hat dann keine Grenzen, bei dem physischen Körper so wenig als bei dem geometrischen, der als ein begrenzter Theil des continuirlichen Raumes gedacht wird. Wiewohl nun der Augenschein leicht zu der Meinung verleiten kann, daß die Materie den Raum continuirlich erfülle, so lehrt doch die genauere Beobachtung und das Experiment, daß dies nicht streng genommen werden dürfe, da jede Art von Materie in ihrem Innern eine Menge von Zwischenräumen verräth. Ueberträgt man aber die geometrische Theilbarkeit, die sich auf ein vollkommenes Continuum bezieht, im strengen Sinne auf die Materie, auf das, was im Raume ist und diesen füllt, so beginnen wir, indem wir Materie denken, eine Theilung, die ins Unendliche fortgesetzt werden muß, weil jeder Theil noch als ein Ausgedehntes soll gedacht werden. Unsere Vorstellung von der Materie ist dann, wie Herbart bemerkt, jederzeit noch im Werden begriffen und wird niemals fertig, weil alle unendlich vielen Theile zusammengefaßt werden müssen, um das Ganze zu erhalten. Das unabhängige Dasein aller materiellen Theilchen erreichen wir im Denken niemals, so lange wir die Theilchen erst durch eine Theilung aus dem Ganzen (der Materie) hervorgehen lassen. Wir erreichen demnach auch niemals das, was an der Materie wahrhaft ist, denn wir kommen nie zu allen, nie zu den letzten Theilchen, eben weil die Theilung ohne Ende fortgesetzt oder die Unendlichkeit derselben übersprungen werden müßte. Der Gedanke der unendlichen Theilbarkeit der Materie ist ungereimt. Denn eine Unendlichkeit von Theilen annehmen, heißt so viel als nichts annehmen. Die Unendlichkeit läßt sich nicht erschöpfen. Man denke sich ein beliebiges Stück Materie und führe durch dasselbe einen bestimmten Schnitt; so liegt die Möglichkeit am Tage, daß man diesen nämlichen Schnitt auf unendlich vielfache Weise anders hindurchführen kann. Hiermit ist wirklich die ganze unendliche Theilung auf einmal vollzogen, und man hat die letzten Theilchen wenigstens im Denken erreicht. Aber was sind nun diese Theile? Jeder Theil muß, wie bei einer geometrischen Theilung, gleichartig sein dem als gleichartig gedachten Ganzen. Dieses letztere wurde aber nur insofern gleichartig gedacht, als dasselbe Materie darstellt, auf deren besondere Qualität hier nichts ankommt. Also ist jeder Theil wieder Materie und kann, weil er ausgedehnt ist, auch wieder getheilt werden. Hierdurch wird nun die vorige Voraussetzung der schon fertigen, unendlichen Theilung umgestoßen. Man beginnt auf dieselbe Weise von Neuem zu theilen, und geräth damit in einen Zirkel, der keinen Ruhepunkt darbietet. Diese Betrachtung bietet hinreichende Veranlassung, jene falsche Anwendung der Geometrie auf die Materie zurückzuweisen und den Schluß zu ziehen: daß die Materie zuletzt nicht wieder aus Materie besteht, sondern daß ihre wahren Bestandtheile schlechthin einfach sind.

Diesen Schluß würde man vielleicht schon längst in weiteren Kreisen gezogen haben, wenn nicht die Schwierigkeit, aus solchen unräumlichen Elementen die raumerfüllende Materie zu construiren, daran gehindert hätte. Die Schwierigkeit wird aber nur scheinbar durch eine willkürliche Fiction gehoben, wenn man sich alle Körper aus kleinsten materiellen Theilchen zusammengesetzt denkt, die physisch untheilbar sein sollen, und deshalb Atome genannt werden. Diese Atome, so klein sie auch angenommen werden mögen, haben doch immer Ausdehnung, und wo Ausdehnung ist, da giebt es auch Theile, gleichviel ob sie sich gesondert

darstellen lassen oder nicht. Man sieht, daß der obige Zirkel sich auch hier wieder einstellt, und daß man nur dadurch aus demselben herauskommt, wenn man die letzten Elemente der Materie als einfach im strengsten Sinne annimmt. Diese Elemente wären dann die eigentlichen Atome, und es würde nun allerdings eine Aufgabe der höheren Physik sein, nachzuweisen, wie aus solchen Elementen die mit Raumbestimmungen behaftete Materie sich habe bilden können. Davon soll weiterhin noch die Rede sein.

Neben der mechanischen giebt es chemische Theilbarkeit der Materie, welche dann zu Tage tritt, wenn ein Körper, der als ein gleichartiges Ganze erscheint, in ungleichartige Bestandtheile zerfällt. So kann man z. B. Zinnober in Schwefel und Quecksiber, Wasser in Sauer- und Wasserstoff, die Alkalien und Erden in Sauerstoff und gewisse metallische Stoffe zerlegen. Die Chemie nennt nun solche Stoffe, welche auf chemischem Wege nicht weiter zerlegt werden können, Grundstoffe oder wohl auch Elemente, behauptet jedoch keineswegs, daß diese Stoffe n i c h t weiter zusammengesetzt seien; denn die Möglichkeit einer Zusammengesetztheit derselben läßt sich nicht in Abrede stellen. Es ist also möglich, daß ein bestimmter Stoff, der Bestandtheil eines zusammengesetzten Körpers ist, abermals aus wenigstens zwei ungleichartigen Stoffen bestehe. Wollten wir aber so ohne Ende fortfahren und immer von Neuem annehmen, daß ein jeder der Bestandtheile, aus welchen ein Körper zusammengesetzt ist, abermals aus zwei ungleichartigen Stoffen bestebe, so würde die Ungereimtheit einer solchen Vorstellungsweise sofort in die Augen springen. Die chemische Theilbarkeit muß, wie die mechanische, wenn sie nicht zu Ungereimtheiten fuhren soll, irgendwo ihre Grenze haben. Zu einer wirklichen Grenzvorstellung gelangt man aber auch hier nur durch die Annahme, daß die letzten, wahren Bestandtheile der Materie schlechthin einfach sind.

Indessen setzt die chemische Theilbarkeit der Materie der mechanischen eine gewisse Grenze. „Zwei ungleichartige Stoffe können sich, wie wir wissen, zu einem gleichartigen Ganzen vereinigen, wie z. B. Schwefel und Quecksilber zu Zinnober, Wasser- und Sauerstoff zu Wasser, Salpetersäure und Kali zu Salpeter 2c. Die mechanische Theilbarkeit eines so zusammengesetzten Körpers, welche bekanntlich immerfort Theilchen liefert, die dem Ganzen gleichartig erscheinen, ist beendigt, sobald man den gegebenen Körper in seine ungleichartigen Bestandtheile zerlegt hat. Und es bleibt nun nichts anderes übrig als die unendliche mechanische Theilbarkeit auf diese Bestandtheile zu übertragen. So oft aber die letzteren noch in einfachere Bestandtheile zerlegt werden können, eben so oft findet die mechanische Theilbarkeit des betreffenden Stoffes (in gleichartige Theilchen) ihre Grenze.

Der Gedanke einer unendlich mechanischen Theilbarkeit der Materie wird übrigens auch schon durch die Thatsache zurückgewiesen, daß die chemische Verbindung ungleichartiger Stoffe nach bestimmten quantitativen Verhältnissen von Statten geht. Dies ist nicht einzusehen, wenn die Materie den Raum continuirlich erfüllt, so daß sie demgemäß, nämlich in Folge der unendlichen Theilbarkeit, eine beliebige Verdichtung und Verdünnung zuläßt. Warum sollte dann nicht ein Stoff mit irgend einem anderen in allen Quantitätsverhältnissen in Wechselwirkung treten, und sich mit ihm zu einem neuen Körper verbinden können?

Die dynamische Ansicht, insofern sie eine continuirliche Raumerfüllung der Materie annimmt, bringt es nicht einmal bis zur evidenten Erklärung des Risses,

welcher entsteht, wenn ein Körper durch äußere Zugkräfte zerrissen wird. Nach ihr kann man nichts anderes erwarten, als daß sich der Körper immer länger dehnt. Dabei nimmt zwar seine Dichtigkeit fortwährend ab, aber seine Continuität wird und muß bleiben, wenn nicht der Begriff der Materie, so wie ihn diese Ansicht aufstellt, in sich selber zerfallen soll. Auch bei einem unendlichen Wachsthum der dehnenden Kraft sollte nach ihr nur eine unendliche Abnahme der Dichtigkeit des Körpers, aber kein Reißen desselben stattfinden *). Aehnliche Schwierigkeiten machen sich geltend, wenn man nach dieser Ansicht die Zertheilung eines Körpers durch einen äußeren Druck erklären will.

Die Annahme absolut einfacher Atome, die wir als die letzten, realen Elemente der Materie betrachten, ist an sich frei von jedem Widerspruche. Diese Elemente sind zwar, da sie unserer Anschauung nicht vorliegen, empirisch unerfaßlich, und insofern nur Gegenstand des Begriffs; aber ihre Annahme stützt sich doch ganz auf eine analytische Betrachtung des erfahrungsmäßig Gegebenen und auf den Fortschritt eines gesetzmäßigen Denkens. Obgleich dieselben, als ausdehnungslose Wesen, keinen Raum einnehmen, so befinden sie sich doch im Raume, der sie gewissermaßen in sich enthält. Wie nun jedem mathematischen Punkte, den man in einem gegebenen Raume unterscheiden kann, ungeachtet seiner Ausdehnungslosigkeit, doch eine bestimmte Stelle in diesem Raume zukommt, so haben auch die einfachen Atome ihre Raumstellen (Orte), die sie unter Umständen aber auch verlassen können, um zu anderen Stellen überzugehen. Diese Atome unterscheiden sich von den wesenlosen mathematischen Punkten, denen sie in Hinsicht auf ihre räumlichen Verhältnisse vergleichbar sind, durch ihre Qualität, durch welche sie positiv bestimmt sind.

Im gewöhnlichen sinnlichen Vorstellen erscheint uns Alles in räumlicher Weise. Das am meisten Massenhafte macht sich nicht selten am stärksten geltend, und das kleiner Werdende erscheint dem Bewußtsein als ein Verschwindendes. So kann eine Scheu entstehen vor der Annahme absolut einfacher Atome, die uns keine anschauliche Vorstellung gewähren, und dem im sinnlichen Vorstellen Befangenen leicht als ein Nichts erscheinen. Wir können uns dieselben aber denken, so gut wie wir uns mathematische Punkte im Raume denken; ja wir müssen uns sogar dieselben denken, wenn wir aus gewissen Ungereimtheiten, die dem gewöhnlichen Begriff der Materie anhaften, herauskommen wollen. Es wird Niemandem einfallen, die Realität eines Körpers nach der Größe des Raumes zu schätzen, den er einnimmt. Niemand wird anstehen, einen Körper, der den zehntausendmillionsten Theil eines Cubikzolls einnimmt, für eben so real zu halten, als einen anderen, welcher einen zehntausendmillionen Mal größeren Raum füllt. Der Begriff der Realität, der Begriff dessen, was wahrhaft ist, ist völlig unabhängig vom Begriff der wesenlosen Räumlichkeit, so daß dieser zu jenem in gar keiner nothwendigen Beziehung steht. Lassen wir nun bei den letzten Bestandtheilen der Materie die Räumlichkeit ganz fallen, so werden sie darum nicht der Realität entbehren. Die einfachen Atome, die realen Elemente der Materie, können aber, obgleich jedes Element an sich ganz unräumlich ist, dennoch unter einander in gewisse räumliche Verhältnisse treten, und dadurch auch dasjenige bilden, was

*) Vergl. Fechner: Ueber physik. und philos. Atomenlehre. S. 54.

man Materie nennt. Wie dies geschehen kann, soll bald Gegenstand einer genaueren Betrachtung werden.

Die Ansicht von einfachen Wesen (Elementen), als letzten Bestandtheilen der Materie, findet sich, wie bereits im historischen Theil dieses Artikels bemerkt ist, bei Herbart und in dessen Schule. Auch fehlt es nicht an berühmten Physikern, welche dieser Ansicht huldigen. So Ampère, Cauchy, Seguin, Moigno, Fechner und gewissermaßen auch Faraday. Fechner*) führt noch W. Weber an, welcher die Möglichkeit anerkenne, die Atome ausdehnungslos zu denken, und darauf eine geistige Auffassung der Atomistik zu basiren.

Man sieht es als eine Wahrheit an, daß einfache Punkte den continuirlichen Raum nicht zusammensetzen können, obwohl man sich beliebig viele solcher Punkte in demselben denken kann. Eben so wenig nun, wie einfache Punkte den continuirlichen Raum bilden, wird man sagen, werden einfache Atome einen Raum erfüllenden Körper constituiren. Und dies könnte man zugeben, wenn die Materie den Raum wirklich continuirlich erfüllte. Dieser Begriff der Materie ist aber bereits, als ein der Wirklichkeit nicht entsprechender, zurückgewiesen worden. Die Materie füllt zwar den Raum, aber sie erfüllt ihn nicht als ein Continuum.

Man denke sich in einem leeren Raume von bestimmter Größe, etwa in einem Cubikzoll, eine beliebige Anzahl einfacher Punkte, und in diesen eben so viele einfache Atome. So lange nun die letzteren in gewissen, auch noch so kleinen Abständen gleichgiltig neben einander verharren, werden sie zusammengenommen nichts darbieten, was einem Körper verglichen werden könnte. Wie aber die sichtbaren Theilchen eines Körpers einen wechselseitigen Einfluß auf einander ausüben, so muß dies auch von den einfachen Atomen gelten. Dieselben müssen in einem Causalverhältniß oder in einem Verhältniß der Wechselwirkung zu einander stehen. Jedes Atom wirke also auf das andere und sei rückwärts dessen Wirkung ausgesetzt. Wirken die Atome anziehend und abstoßend zugleich auf einander, so werden sie sich, diesem gegenseitigen Einflusse gemäß, in bestimmten Abständen von einander zu erhalten suchen, und jeder Angriff, den ein Atom irgend wie von außen her erfährt, wird auch von Erfolg für die übrigen sein, so daß, wenn das angegriffene Atom in Bewegung geräth, auch die übrigen Atome in dieselbe mit hineingezogen werden. So bilden die einfachen Atome, in Folge ihrer Wechselwirkung, ein Ganzes, das bestimmte räumliche Verhältnisse darbietet, weil die einzelnen wirksamen Glieder desselben in gewissen Abständen einander gegenüberstehen. Jedes Atom strebt, gestützt durch den Einfluß der übrigen, in dem Punkte zu verharren, worin es sich befindet, und kann aus demselben nur durch Ueberwindung eines bestimmten Widerstandes verdrängt werden. Wenn demnach eine andere Gruppe von einfachen Atomen, die ebenfalls mit einander, vermöge ihrer gegenseitigen Einwirkung, zu einem Ganzen verbunden sind, in jene Atomgruppe einzudringen sucht, so werden beide Gruppen einander widerstehen und insofern Undurchdringlichkeit verrathen. Suchen wir aber selbst vermittelst unseres Tastorgans in den Raum einzudringen, worin einfache Atome in bestimmten Punkten auf die angegebene Weise sich befinden, so werden wir die Einwirkung und demzufolge auch

*) Atomenlehre. S. 161.

den Widerstand dieser Atome überall, am ganzen Umfange des betreffenden Raumes erfahren. Daher wird uns das Ganze, welches die einfachen Atome, kraft ihrer Wechselwirkung, zusammengenommen darstellen, als ein Etwas erscheinen, das den Raum erfüllt.

Wollten wir an die Stelle der einfachen Elemente materielle Atome von unmeßbar kleinen Dimensionen setzen, wie das gewöhnlich in der Physik geschieht, so würde dadurch unsere Einsicht in das Wesen der Materie nur beschränkt werden. Denn es heißt nicht das Wesen der Materie begreifen, wenn man sich die letzten Bestandtheile, welche die Materie constituiren sollen, materiell denkt. Auch können solche Atome die erfahrungsmäßig gegebene Materie so wenig constituiren wie die einfachen Atome, wenn sie nicht gleich diesen in einem Verhältniß der Wechselwirkung zu einander stehen. Kämen sie bis zur Berührung an einander, so könnten sie wohl Materie bilden, aber nicht diejenige Materie, welche uns erfahrungsmäßig gegeben ist; denn diese läßt sich zusammendrücken, was bei der vorausgesetzten Undurchdringlichkeit der materiellen Atome unmöglich wäre. Die letzteren müssen also gleichfalls in bestimmten Abständen von einander gedacht werden, was auch zu geschehen pflegt. Dann erscheint jedoch der unmeßbar kleine Raum, den diese Atome erfüllen sollen, völlig bedeutungslos. Ihre Wechselwirkung bleibt die Hauptsache. Die Kraftverhältnisse aber, welche dieser Wechselwirkung zu Grunde liegen und die Constitution der Materie bedingen, können gewiß nicht ursprünglich durch eine Ausdehnung der Atome bedingt sein.

Die einfachen Atome müssen also auf und gegen einander wirken, wenn sie einen Körper constituiren sollen. Diese Wirkungen sind jedoch nicht zu betrachten als Aeußerungen selbstständiger Kräfte, welche gewissermaßen hinter den Atomen stehen und diese, als passiv, im Raume hin und herschieben. Bei einer solchen Annahme erscheinen die Atome selbst als eine überflüssige Zugabe; jene Kräfte, sofern man dieselben nur discret, als punktuelle Intensitäten, denkt (wodurch sie freilich in gewisser Beziehung mit den einfachen Wesen zusammenfallen würden), reichen dann schon allein zur Construction der Materie aus. Die einfachen Atome, welche den wahren Stoff der Materie bilden, sind vielmehr selbst, ihrem ganzen Wesen nach, Kräfte, wenn sie einen bestimmten Körper constituiren, so daß dieser ein Aggregat von Kraftpunkten ist. Die Kraftäußerungen der Materie sind den sie constituirenden Atomen wesentlich zugehörige Thätigkeiten.

Nun findet aber jedes Atom, das mit anderen einen Körper bildet, den Grund oder die Veranlassung zu seiner Thätigkeit nur in den anderen benachbarten Atomen. Jedes Atom hält das andere in einer bestimmten Entfernung fest und wird von diesem festgehalten. Kein Atom weiß aber etwas von seinem Nachbaratome, und es ist nicht einzusehen, wie ein Atom, das lediglich sich selbst gleich ist, durch einen auch noch so kleinen leeren Raum auf ein anderes eine Wirkung ausüben und von diesem eine Wirkung empfangen kann. Nehmen wir an, daß jedes Atom auf das andere anziehend und abstoßend zugleich wirke, so ist dies schon ein Widerspruch, wenn solche entgegengesetzte Thätigkeiten zugleich und ursprünglich in einem und demselben einfachen Wesen stattfinden sollen. Sieht man davon aber auch ab, so können diese Thätigkeiten bekanntermaßen doch keinen Erfolg für ein anderes Atom haben, wenn sie auf dasselbe in gleichem Maße ausgeübt werden; sie müssen sich aufheben. Anziehung allein würde aber die Atome bis zur Berührung nahe bringen; sie könnten dann keinen Körper bilden, gleich-

viel, ob sie materiell oder ausdehnungslos gedacht werden. Und eine alleinige repulsive (abstoßende) Thätigkeit würde sie im Raume zerstreuen, also ebenfalls die Bildung eines Körpers verhindern. Es scheint also doch, als ob beide Thätigkeiten, die attractive und repulsive, zugleich in den Atomen vorhanden sein müßten, nur so, daß die eine, die Repulsion, bei der Annäherung zweier Atome schneller wachse als die andere, die Attraction. Die vollständige Berührung wird dann zugleich mit der völligen Zerstreuung der Atome vermieden sein. Wie es aber zugehe, daß ein Atom durch den leeren Raum hin auf ein anderes wirke, ist freilich schlechthin unbegreiflich. Ja es ist, so lange man sich die Atome außer einander denkt, gar nicht zu begreifen, wie überhaupt nur eine Wechselwirkung von dem einen zu dem andern hin stattfinden könne. Wie kann auf diesem Wege ein Atom durch andere zu einer Thätigkeit veranlaßt werden, die sie innerhalb gewisser Raumgrenzen dauernd zu einem Ganzen vereinigt? Und doch müssen sie thätig sein, müssen eine Wechselwirkung ausüben, falls sie einen Körper constituiren sollen. Was nun den Atomen unmöglich ist, so lange sie außer einander sind, das vermögen sie vielleicht, wenn sie zusammen, d. h. in einander sind. Es ist möglich, daß in einem solchen Zusammen der Atome sich zwischen ihnen Kraftverhältnisse bilden, durch welche sie wieder aus einander getrieben werden, jedoch so, daß sie in bestimmter Weise bei einander bleiben müssen.

Von der an sich unerkennbaren, einfachen Qualität der Elemente läßt sich doch so viel einsehen, daß dieselbe bei mehreren, falls sie wirklich mit einander verglichen werden könnten, entweder g l e i c h oder conträr e n t g e g e n g e s e t z t sein müsse. Im ersten Falle werden die Elemente, wenn sie zusammen kommen, gleichgiltig in einander verharren. Denn es ist nicht abzusehen, wie gleichartige Elemente, als solche, im Falle des Zusammentreffens auf einander einwirken können. Da jedes dem anderen hinsichtlich der Qualität völlig gleich ist, so kann keinem etwas von dem anderen widerfahren. Es müssen noch andere Bestimmungen hinzutreten, wenn ein Einfluß gleichartiger Elemente auf einander möglich sein soll. Im zweiten Falle ist aber an den verglichenen Elementen G l e i c h e s und E n t g e g e n g e s e t z t e s zu unterscheiden. Das Gleiche und Entgegengesetzte sind jedoch an den Elementen keine gesonderten oder trennbaren Stücke, nur die Vergleichung stellt es heraus. Die Qualität eines jeden Elements, verglichen mit der Qualität eines anderen von der nämlichen Art oder Gattung, erlaubt die Unterscheidung — nicht wirkliche Trennung — dessen, was dem anderen gleich und entgegengesetzt ist. Zwischen den Qualitäten je zweier Elemente kann das Gleiche oder das Entgegengesetzte vorherrschend sein, und die Gegensätze unter den Elementen können sowohl nach Beschaffenheit als auch nach Größe verschieden sein. Sollte nun nicht der Gegensatz zwischen den Elementen, im Falle ihres Zusammentreffens, einen realen Erfolg haben? Wahrscheinlich ist dies im hohen Grade. Schon die chemischen Processe deuten mit Bestimmtheit darauf hin, daß Ungleichartigkeit der Stoffe oder ein gewisser Gegensatz zwischen denselben das Princip der Anziehung oder die Bedingung ihrer Wechselwirkung sei. Dieselben Processe zeigen aber auch, daß die Theilchen ungleichartiger Stoffe mit einander in die innigste Berührung kommen müssen, wenn eine Wirkung zwischen ihnen stattfinden soll. In Bezug auf die einfachen Elemente (Atome) bietet sich nun zunächst folgendes dar.

Steht die Qualität eines Elements A mit der Qualität eines anderen B im Gegensatze, so sollte, sobald diese Elemente zusammentreffen, das Entgegengesetzte

ihrer Qualitäten sich aufheben. Dies ist aber insofern unmöglich, als das Entgegengesetzte kein abtrennbares Stück ist, sondern nur in unauflöslicher Verbindung mit dem, was nicht im Gegensatze steht, die eigenthümliche Qualität des Elements ausmacht. Also muß jedes der Elemente, so gewiß es unaufhebbar ist, sich nach seiner eigenen Qualität gegen die Störung, die ihm von dem Entgegengesetzten des anderen droht, behaupten als das, was es ist. Man kann die Qualitäten zweier entgegengesetzter Elemente A und B bildlich durch die Formeln a + b und a + (— b) darstellen, wo aber a und b keine wirklichen Glieder in den Qualitäten der einfachen Elemente darstellen, sondern in unauflöslicher Verbindung mit einander als ein vollkommen sich selbst gleiches, substantielles Eins gedacht werden müssen. Eben so bezeichnet das (— b) in der Formel für die Qualität des B etwas durchaus Positives, aber dem + b im A Entgegengesetztes, was durch das Zeichen: — angedeutet ist. Kommen nun solche Elemente A und B zusammen, so sollte sich ihr Entgegengesetztes (+ b und — b) tilgen und nur ihr Gleichartiges a übrig bleiben. Da aber letzteres mit dem ersteren ein untheilbares Eins bildet, so bleibt nichts anderes übrig, als daß sich jedes Element gegen das andere in seiner Qualität behauptet, als das was es ist. Die Störung, welche erfolgen würde, wenn das Entgegengesetzte der beiden Elemente sich aufheben könnte, gleicht einem Drucke, das Bestehen gegen die Störung einem Widerstande. Die Elemente bestehen also in der Lage, worin sie sind, in und wider einander. Man erkennt, daß es sich hier um eine Abänderung der Qualität handelt, die jedes Element des Gegensatzes wegen von dem anderen erfahren sollte, wogegen es aber reagirt und sich selbst behauptet als das, was es ist. Eine Störung sollte erfolgen, die Reaction hebt die Störung auf, dergestalt, daß sie gar nicht eintritt. Und diese Reaction, welche unmittelbar dem Gegensatze gilt, ist eigentlich dasjenige, was hier wirklich geschieht.

Die Reaction ist also nichts anderes als ein Bestehen gegen eine Störung, welche in dem Verhältnisse der Qualitäten je zweier Elemente liegt. Auch geschieht stets zweierlei zugleich, nämlich das Element A behauptet sich als A und B als B. Jede Reaction, die von einem Elemente ausgeht, wenn es sich gegen ein bestimmtes andere in seiner Qualität behauptet, hat demnach ihren eigenthümlichen Charakter. Ist der Gegensatz zwischen den Elementen A und C ein anderer als der zwischen A und B, so muß auch die Reaction des A gegen C verschieden sein von der Reaction des nämlichen A gegen B.

Die Reactionen erfolgen unausbleiblich aus dem Gegensatze der Qualitäten, wenn die Elemente zusammentreffen. Sie fallen daher ganz weg bei vollkommen gleichartigen Elementen, wenn nicht ein ihnen ungleichartiges Element dazutritt. Wo kein Gegensatz ist, da kann auch keine Störung und deshalb auch keine Reaction erfolgen.

In den Reactionen liegt der Grund der Anziehung der Elemente, so wie überhaupt das, was man Causalität oder das Verhältniß zwischen Ursache und Wirkung nennt. Auch zeigt sich hier die Nothwendigkeit eines Zusammen (Ineinander) der Elemente, weil sonst die letzteren einander unzugänglich bleiben würden, und daher auch der Gegensatz ihrer Qualitäten keinen Erfolg haben könnte.

In dem Gegensatze der Elemente liegt ferner das, was die Chemie die Verwandtschaft der Stoffe zu nennen pflegt. Entgegengesetzte Elemente oder Stoffe sind insofern verwandt, als sie eben wegen ihres Gegensatzes in einander greifen

und gegen einander reagiren, was bei völlig gleichartigen Elementen, als solchen, nicht möglich ist; diese verharren gleichgiltig in oder neben einander.

Wenn also zwei entgegengesetzte Elemente zusammen kommen, so verharren sie, vermöge ihrer gegenseitigen Reactionen, nothwendig in einander. Es komme nun ein Element B zusammen mit zwei anderen A und A', die unter sich von gleicher Qualität seien, während jedes von ihnen, einzeln genommen, mit jenem ersten im Gegensatze stehe. Dann müssen die beiden Elemente A, A', sobald sie mit B zusammen sind, sich gegen dasselbe vollständig in ihrer Qualität behaupten. Aber auch B muß sich behaupten, und zwar gegen beide A zugleich, da es mit einem jeden von ihnen in demselben Verhältnisse des Gegensatzes steht. Wenn nun die Reaction eines Elements keiner Steigerung ins Unendliche fähig ist, sondern ihr nothwendiges Maß hat, das nicht überschritten werden kann; so wird in dem Falle, daß der Gegensatz zwischen den Elementen A und B ein gleicher, d. h. ein solcher ist, daß das eine Element eben so sehr von dem anderen als dieses von jenem gestört wird, schon ein einziges A unter Voraussetzung eines vollständigen Zusammen mit B dieses zu dem höchsten Grade der Reaction veranlassen. Ist aber B mit beiden A zusammen, so muß es gegen dieselben eine zweifache vollständige Reaction ausüben, die doppelt so stark ist als diejenige eines einzelnen A. Hierin liegt ein Princip der Repulsion, insofern B einer Steigerung seiner Reaction über das natürliche Maß hinaus widerstrebt. Da jedes A wegen des Gegensatzes zu B gegen das letztere reagiren muß, so sollten beide A in B verharren. Und dies kann man Anziehung nennen. Da aber B der zwiefachen, vollständigen Durchdringung, die ihm, dem einzelnen, von den beiden A zugemuthet wird, nicht entsprechen kann, so scheint es gegen sie eine zurückstoßende Gewalt auszuüben, die wir Repulsion nennen. Hätten nun die Elemente eine gewisse, wenn auch noch so geringe räumliche Ausdehnung, so könnte man sagen: während B gegen beide A zugleich reagirt, vermindert sich seine Durchdringung mit den letzteren so weit, bis deren Reactionen zusammengenommen gleich sind der einen vollen (höchsten) Reaction des B, welche schon dann stattfindet, wenn dasselbe mit einem einzelnen A vollständig in einander ist. In diesem Falle einer partialen Durchdringung bestände ein Gleichgewicht zwischen der attractiven und repulsiven Thätigkeit der Elemente. Ist nämlich ein Element A mit B vollständig zusammen, so kann man das Maximum der Reaction, welche jedes Element gegen das andere ausübt, = 1 setzen. Kommt nun noch ein zweites A hinzu, so übt dasselbe gegen B ebenfalls eine Reaction = 1 aus, während B gegen dieses A in demselben Maße wie gegen jenes reagiren muß, so daß es demgemäß seine Reaction über den schon gewonnenen Maximalwerth hinaus erhöhen sollte. Dieser Forderung leistet B aber kein Genüge oder es leistet ihr nur insofern Genüge, als es widerstrebt. Daher müssen die beiden A aus B herausweichen, und in dem Grade, als dies geschieht, ihre Reaction gegen B vermindern. Das Gleichgewicht der Attraction und Repulsion von B gegen die beiden A ist erreicht, sobald die Reactionen der letzteren einzeln die Hälfte ihres Maximalwerthes betragen. Dann sind die Reactionen der beiden A ($^1/_2 + ^1/_2 = 1$) zusammengenommen gleich der einen vollen Reaction des B, indem die ersteren sich zu dem Maximalwerth der Reaction ergänzen. Leicht läßt sich dieses Resultat auf mehrere gleichartige Elemente A übertragen, wenn sie mit einem ihnen entgegengesetzten B zusammenkommen. Je größer die Anzahl jener Elemente ist, desto geringer ihre Durchdringung mit dem anderen B. Wären z. B. der gleichartigen

Elemente drei vorhanden, so würden dieselben nur so tief in B eindringen, bis ihre Reactionen zusammen der vollen Maximalreaction von B gleichkämen. Die Reaction jedes einzelnen A würde dann $1/3$ des Maximums betragen, das die Reaction in einem A überhaupt erreichen kann, und die Reactionen aller drei A würden dann insgesammt ($1/3 + 1/3 + 1/3 = 1$) die volle Reaction ergeben, welche mit der höchsten Reaction des B in einem angemessenen Gleichgewichte stände. In solcher Weise mit einander verbunden, würden die Elemente kleinste materiale Massentheilchen bilden, die sich wieder unter einander zu einem größeren materiellen Ganzen verbinden könnten, dem nicht allein eine bestimmte Cohäsion und Dichte, sondern auch, wie sich leicht nachweisen ließe, eine bestimmte Gestaltung zukommen müßte.

Aber einfache Elemente, wird man sagen, haben keine Ausdehnung, und deshalb kann auch keine partiale Durchdringung zwischen ihnen stattfinden. Wenn solche Elemente zusammen sind oder auf irgend eine Weise zusammen kommen, so mögen zwischen ihnen immerhin die erörterten Kraftverhältnisse auftreten; sie werden dann, in Folge derselben, wieder aus einander getrieben, in diesem Außereinander aber, so lange keine neuen Bestimmungen hinzukommen, nur ein loses Aggregat bilden, das nichts darbietet, was an die wirklich gegebene Materie erinnern könnte. Dennoch hat Herbart, von welchem die eben entwickelte Lehre in der Hauptsache herrührt, gestützt auf die Fiction einer Theilbarkeit des einfachen Punktes oder, was dasselbe ist, gestützt auf den Begriff eines unvollkommenen Zusammen einfacher Punkte, eine Construction der Materie geliefert, welche auf einer partialen (theilweisen) Durchdringung der einfachen Elemente beruht. Zwei Punkte, deren Entfernung = 0 ist, müssen hiernach nicht, wie es die gewöhnliche Ansicht verlangt, nothwendig als in einander gedacht werden, sondern sollen auch an einander gedacht werden können. Zwischen dem Aneinander und vollständigen Ineinander liegt dann das unvollkommene Zusammen dieser Punkte oder, auf die einfachen Elemente übertragen, deren partiale Durchdringung. Wir können dies hier nicht weiter zum Gegenstande unserer Betrachtung machen, sondern müssen auf die betreffenden Stellen bei Herbart *) verweisen. Mir selbst hat sich eine Ansicht von der Bildung der Materie aus einfachen Elementen dargeboten, die ich in ihren Hauptzügen nachstehend zur Darstellung bringen will.

Wenn zwei einfache Elemente A und B von entgegengesetzter Qualität zusammen sind, so muß jedes gegen das andere, auf Grund des Gegensatzes, eine Reaction ausüben. Beide Elemente verharren dann nicht gleichgiltig in einander, sondern jedes sucht sich in dem anderen zu erhalten, indem das eine gegen das andere reagirt. Hierin liegt das Princip der Anziehung. Kommt nun noch ein zweites dem A oder B gleichartiges Element hinzu, so findet natürlicher Weise auch zwischen ihm und dem entgegengesetzten Element (es sei dies beispielsweise B) eine gegenseitige Reaction statt. Damit entsteht aber zugleich ein Conflict zwischen den beiden gleichartigen Elementen A; sie drängen gegen einander, indem sich jedes gegen das andere in B zu behaupten sucht, und kraft dieses Conflicts müssen sie einander aus B nach entgegengesetzten Richtungen verdrängen. Aber dies geschieht nur, indem jedes A so viel als möglich widerstrebt; denn jedes sucht in B

*) Allgemeine Metaphysik. Thl. II. S. 161 ff., S. 270 ff.; auch Hartenstein, Grundlehren der allgemeinen Metaphysik. Leipzig 1836. S. 358.

zu verharren, und ist also im Augenblick seines Hervorbringens aus letzterem zu zwei Bewegungen in entgegengesetzten Richtungen angeregt. Darum ist auch die Bewegung der beiden A, von B hinweg, schon im Anfange einer Beschränkung oder Hemmung unterworfen; und da sofort mit dem Beginn des Außereinander dieser Elemente ihr Conflict verschwindet, während ihr Streben zur entgegengesetzten Bewegung, nämlich nach B hin, fortdauert, so muß jene Bewegung rückgängig werden, oder die Elemente A müssen wieder von entgegengesetzten Seiten her in B eindringen. Hier entsteht derselbe Conflict von Neuem; die Elemente A dringen wieder aus B hervor, kehren aber auch aus demselben Grunde wieder zu ihm zurück u. s. f. So vollziehen die beiden Elemente A, in Folge der Kraftverhältnisse, welche aus ihrem ersten Zusammen mit B hervorgehen, unaufhörlich eine oscillatorische Bewegung, die ihr Zusammensein mit B abwechselnd aufhebt und wieder herstellt. Wird aber eines der Elemente A, etwa A', durch irgend eine äußere Ursache in seiner Bewegung aufgehalten, so daß es etwas später als das andere A auf B trifft, so wird dieses A mit B zusammen bleiben; und weil es im Moment seines Zusammentreffens mit B den Gegendruck von Seiten des A' nicht erfährt, so kann es seine Bewegung, in die es B mit hineinzieht, nach A' hin fortsetzen. Dadurch kommen aber bald alle drei Elemente wieder zusammen; es entstehen unter ihnen von Neuem die beschriebenen Kraftverhältnisse, und durch diese auch wieder die vorigen Bewegungsverhältnisse. Die drei Elemente, so mit einander verknüpft, bilden zwar noch kein materielles Molecül, zeigen noch keine feste räumliche Gestaltung, aber der Anfang zur Bildung der Materie aus einfachen Elementen ist durch diese Bewegungsverhältnisse gegeben. Bevor wir dies jedoch weiter entwickeln, wollen wir zunächst an einiges Bekannte erinnern.

Nach der gewöhnlichen physikalischen Atomistik denkt man sich die Körper aus untheilbaren Elementen oder Atomen zusammengesetzt, die anziehend und abstoßend auf einander wirken, über deren Gestalt und Ausdehnung aber keine bestimmte Ansicht vorliegt. Solche Atome gruppiren sich nach bestimmten quantitativen Verhältnissen zu zusammengesetzten Atomen oder sogenannten Molecülen, welche wieder zu einem größeren materiellen Ganzen zusammentreten können. Der Abstand der einzelnen Atome wird aber größer gedacht als ihre Ausdehnung, falls man ihnen eine solche zugesteht, und die zusammengesetzten Atome oder Molecüle sollen in noch größeren Distanzen, als die einzelnen Atome, von einander abstehen. Die Atomgruppe, welche man Molecül oder kleinstes Massentheilchen oder wohl auch ein Atom höherer Ordnung nennt, hat, je nach der Stellung der einzelnen Atome in derselben, eine bestimmte Gestalt, durch welche natürlicher Weise auch die Gestaltung des größeren Ganzen bedingt ist. Wenn nun ungleichartige Stoffe unter den gehörigen Umständen zusammenkommen, so entsteht aus ihnen ein neuer Körper, indem die Atome dieser Stoffe sich auf bestimmte Weise zu zusammengesetzten Atomen (Molecüle) verbinden, die dann unter einander den neuen Körper zusammensetzen. So bildet z. B. 1 Atom Wasserstoff mit 1 Atom Sauerstoff 1 Atom oder kleinstes Massentheilchen Wasser; und viele solcher Massentheilchen bilden zusammen eine größere Wassermenge. In ähnlicher Weise entsteht aus 1 Atom Schwefel und 3 Atomen Sauerstoff 1 Atom (oder kleinstes Massentheilchen) Schwefelsäure, und aus 1 Atom Sauerstoff mit 1 Atom eines metallischen Stoffes: Kalium 1 Atom (Massentheilchen) Kaliumoxyd oder Kali. Beide, die Schwefel-

säure und das Kali, können sich wieder zu einem neuen Körper, zu einem Salze verbinden, das man schwefelsaures Kali nennt, indem sich je 1 Atom Schwefelsäure mit je 1 Atom Kali zu einem Massentheilchen gruppirt, deren viele zusammen ein größeres Quantum dieses Salzes bilden. Jede chemische Verbindung, die einen bestimmten Körper darstellt, erscheint sonach als eine Gruppe mehr oder weniger zusammengesetzter Atome oder Massentheilchen, deren letzte Glieder jene nicht weiter theilbaren Atome sind.

Die Theilbarkeit der Körper, welche nicht ins Unendliche gehen und daher auch keine continuirliche Raumerfüllung durch die Materie zulassen kann, und eine Menge von Erscheinungen, welche die Materie in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften darbietet, fordern diese atomistische Vorstellungsweise. Schon die Natur eines jeden Krystalles weist auf eine atomistische Constitution hin. Diese Atomenlehre gewährt zwar noch keine tiefere Einsicht in das eigentliche Wesen der Materie, aber sie ist einer beträchtlichen Erweiterung und Verfeinerung fähig, und kann vielleicht zu einem selbst die höheren naturwissenschaftlichen Bedürfnisse befriedigenden Abschlusse gelangen, wenn sie die Atome als schlechthin einfache Elemente auffaßt. Ihre weitere erfolgreiche Ausbildung hängt dann von der Beantwortung der Frage ab, wie diese einfachen Atome, ohne daß sie unmittelbar (durch den leeren Raum) auf einander wirken, doch unter sich Kraftverhältnisse entfalten, welche aus ihnen ein räumliches Ganze mit solchen Eigenschaften entstehen lassen, wie sie die erfahrungsmäßig gegebene Materie darbietet.

Die Erscheinungen des Lichts und der Wärme, obschon dieselben sich weit über den Umfang der gegebenen Körper hinaus in den umgebenden Raum erstrecken, treten doch immer an der wägbaren Materie hervor, so daß sie jedenfalls durch die Thätigkeit der letzteren, wenn auch nicht ausschließlich, so doch wenigstens theilweise bedingt sind. Aehnliches gilt von den Erscheinungen der Elektricität. Anderseits deuten aber diese Erscheinungen wieder auf etwas von der Materie Unabhängiges und Selbstständiges, als auf ihr Ursächliches hin. Wenn Licht und Wärme von einem Körper ausgehen und auf einen anderen treffen, so werden in diesem, allerdings je nach dessen Natur, Erscheinungen bewirkt, die man nicht ohne Weiteres auf eine bloße, durch jenen Körper veranlaßte, Selbstthätigkeit desselben zurückführen kann.

Wenn wir sehen, wie ein Körper durch die Wärme ausgedehnt wird, wenn wir weiter beobachten, daß der Körper seine bisherige Aggregatform verliert und eine davon verschiedene erhält, so müssen wir wohl annehmen, daß etwas von den Massentheilchen der Körper Verschiedenes und Selbstständiges in den Zusammenhang derselben eingreift und mit ihnen in Wechselwirkung tritt. Die physikalische Atomistik hat nun auch schon längst außer denjenigen Atomen, welche als Grundbestandtheile der wägbaren Materie betrachtet werden müssen, noch andere Atome angenommen, die sie unter dem Namen Aether zusammenfaßt. Die Atome des Aethers sollen sich gegenseitig abstoßen, während zwischen jedem Atome der wägbaren Materie und Aetheratome Anziehung stattfindet. So ist um jedes Atom der Materie eine Aethersphäre gruppirt, deren Elemente mancherlei Einwirkungen von Seiten der Körperatome empfangen können, wenn diese durch irgend eine Ursache aus ihrer Gleichgewichtslage verrückt werden. Dadurch können die Atome der Aethersphären und weiterhin auch die Aetheratome im umgebenden Raume in gewisse Bewegungszustände versetzt werden, die sich von Atom zu Atom auf benach-

barte Körper fortpflanzen und in diesen entsprechende Veränderungen hervorbringen. Die Fortpflanzung der strahlenden Wärme und deren Wirkung bietet hierzu ein bekanntes Beispiel.

Gehen wir von hier aus zurück zu unserer oben begonnenen Vergleichung der einfachen Elemente, so führt diese fast von selbst zur möglichen Existenz von solchen Elementen, die man in der physikalischen Atomistik unter dem Namen des Aethers zusammenfaßt. Die Qualitäten der einfachen Elemente können gleich sein, aber auch in bestimmten Gegensätzen unter einander stehen. Der Gegensatz kann nicht allein mehr oder minder stark sein, sondern auch noch eine andere Art des Unterschiedes darbieten, je nachdem entweder schon Ein Element A hinreicht, um ein anderes B zu einer vollständigen Reaction, nämlich zu dem möglichen Maximum derselben, das sich als Einheit betrachten läßt, zu veranlassen, oder erst mehrere Elemente a denjenigen Grad der Reaction hervorzubringen vermögen, dessen B überhaupt fähig ist, so daß der Grad der Reaction, zu welchem B durch ein a gebracht wird, als ein Bruchtheil der Einheit anzusehen ist. Diese Verschiedenheit läßt sich als Gleichheit und Ungleichheit des Gegensatzes bezeichnen. Stehen also die Elemente A und B in einem gleichen Gegensatze zu einander, so werden sich beide Elemente, falls sie zusammen sind, zu dem höchsten Grad der Reaction, dessen sie überhaupt fähig sind, veranlassen. Kommt aber noch ein zweites Element A hinzu, so wirkt B repulsiv, indem es der Erhöhung seiner Reaction über das mögliche Maximum hinaus widerstrebt. Ist aber der Gegensatz zwischen zwei Elementen B und a ein ungleicher, so daß etwa zwei Elemente der Art a nöthig sind, um in B das Maximum der Reaction hervorzubringen, so wird die Reaction von B gegen ein einzelnes a: = $1/2$ der ganzen Reaction in B sein. Die beiden a werden in diesem Falle mit B zusammen bleiben können, so lange bis ein drittes a hinzukommt, wo dann das Element B, zufolge der geforderten Erhöhung seiner Reaction über das natürliche Maximum hinaus, wieder repulsiv wirkt. Doch wird auch hier zwischen den Elementen a selbst schon früher, noch ehe das dritte hinzukommt, Repulsion eintreten, insofern sie nämlich mit einander in Conflict gerathen, indem jedes gegen das andere in B zu verharren strebt. Sie verdrängen sich aus dem letzteren nach entgegengesetzten Richtungen, jedoch, da mit dem Außereinander ihr Conflict wegfällt, mit der Bedingung bald darauf wieder (durch eine rückgängige Bewegung) in B einzudringen. Wie bei dem gleichen, so können auch bei einem ungleichen Gegensatze im Grunde nie mehr als zwei qualitativ entgegengesetzte Elemente (B und a) zusammen bleiben; sobald ein zweites a hinzukommt, entsteht nothwendig Repulsion, die im Verein mit der Attraction oder dem Bestreben der Elemente a, in B zu verharren, zu jener oscillatorischen Bewegung der Elemente a in Bezug auf das eine B führt. Der Unterschied liegt nur darin, daß bei einem ungleichen Gegensatze erst dann eine repulsive Thätigkeit von Seiten des einen Elements, das wir hier B nennen, erwacht, wenn eine gewisse Anzahl anderer Elemente, die mehr als zwei beträgt, überschritten wird; während dieselbe bei einem gleichen Gegensatze zwischen den Elementen A und B sogleich hervortritt, falls ein zweites A oder auch ein zweites B hinzukommt.

Die Gleichheit und Ungleichheit des Gegensatzes hat namentlich Bedeutung in Hinsicht auf das quantitative Verhältniß, nach welchem sich die Elemente zusammen gruppiren. Eine Ungleichheit des qualitativen Gegensatzes unter den Elementen, über deren mögliche Anzahl nichts entschieden werden kann und auch

nichts entschieden zu werden braucht, ist aber a priori gewiß eben so wahrscheinlich als die vollkommene Gleichheit desselben. Der Gegensatz zwischen Einem Element B und gewissen anderen c kann nun auch so ungleich sein, daß eine sehr große Anzahl dieser Elemente nöthig ist, um jenes erste zum Maximum der Reaction zu veranlassen, dergestalt also, daß sehr viele derselben mit B zusammen sein können, ehe ihnen von Seiten des letzteren eine repulsive Thätigkeit entgegentritt. Vermöge des Conflicts aber, der zwischen den Elementen c in B stattfindet, weichen sie aus diesem nach allen Seiten (in der Richtung der Radien, die man sich von B aus gezogen denken kann) heraus, um bald darauf wieder in dasselbe einzudringen. Und wenn sie bei dieser oscillatorischen Bewegung auf andere Elemente c (außerhalb B) treffen, so können sie diese mit in die Bewegung hineinziehen, und gewissermaßen zu B hinführen. Sobald aber in B der Elemente c sich so viele begegnen, daß jenes das Maximum seiner Reaction überschreiten müßte, um sie alle in sich zu erhalten, gesellt sich zu dem Conflict, welcher zwischen den einzelnen Elementen c besteht, noch die repulsive Thätigkeit von Seiten des B, wodurch eine Vergrößerung der Schwingungsweite der oscillirenden Elemente c bewirkt wird. Die letzteren bilden zusammen eine verdichtete Sphäre um das eine Element B, das für ihre oscillatorische Bewegung das gemeinsame Centrum und zugleich der Ursprung ist. Alle Elemente, welche sich auf einem und demselben Radius einer solchen Sphäre befinden, beginnen zwar gleichzeitig ihre Bewegung nach dem Centrum hin, können aber dasselbe nicht alle auch gleichzeitig erreichen, sondern während die dem Centrum zunächst gelegenen Elemente aus diesem schon wieder herausweichen, sind vielleicht die weiter zurückstehenden erst im Begriff, in dasselbe einzudringen. Es werden also wahrscheinlicher Weise nicht alle Elemente einer vollständig ausgebildeten Sphäre mit dem Element B wieder ganz zusammen kommen; aber alle Elemente werden doch eine gemeinsame Bewegung abwechselnd nach diesem Element hin und von demselben hinweg haben. Die Sphäre wird sich demgemäß abwechselnd verdichten und ausdehnen.

Diejenigen einfachen Elemente nun, welche unter einander in einem starken, aber gleichen oder doch nicht sehr ungleichen Gegensatze stehen, betrachten wir als die eigentlichen Grundbestandtheile der Materie. Die anderen dagegen, welche mit diesen Grundelementen und gewissermaßen Kernpunkten der Materie einen sehr ungleichen Gegensatz bilden, und sich demgemäß in sehr großer Anzahl um jedes einzelne derselben dauernd gruppiren können, machen zusammen den sogenannten Aether aus, dessen mögliche Existenz sich aus einer vergleichenden Betrachtung der Elemente (bezüglich ihrer Qualität) ergeben hat. Auch die physikalische Atomistik nimmt, wie bereits erwähnt ist, Aetheratome an, von denen sie ohne Weiteres voraussetzt, daß eine sehr große Anzahl derselben sich um jedes Atom der wägbaren Materie, vermöge wechselseitiger Anziehung, gruppiren könne.

Kommen nun zwei ungleichartige Elemente A und B, von denen jedes, auf die angegebene Weise, mit einer Ätherspähre umgeben ist, einander hinreichend nahe, so werden ihre Aethersphären in einander greifen, und auf der Seite, wo dies stattfindet, Elemente der einen Sphäre mit denen der anderen zusammentreffen. Diese zusammentreffenden Aetherelemente, obwohl an sich gleichartig, befinden sich doch, da sie den ungleichartigen Elementen A und B angehören, in entgegengesetzten Reactionszuständen, und können deshalb auch gegen einander eine Reaction ausüben, die einer Anziehung gleichgeltend ist. Wie dem aber auch sein

mag, jedenfalls werden die Aetherelemente, welche beim Ineinandergreifen der beiden Sphären zusammentreffen, sich in ihrer Bewegung verzögern, so daß die auf der entgegengesetzten Seite befindlichen Elemente in dem Moment, wo die Sphären sich zusammenziehen, den bisherigen Druck von der anderen Seite her nicht mehr in dem Maße wie sonst erfahren werden. Die Sphären müssen also in Folge der Verzögerung, welche die Elemente auf der Innenseite, in ihrer Bewegung nach den Centralelementen A und B hin, erleiden, (s. Fig. I.) auf die letzteren einen stärkeren Druck von der Außenseite her ausüben. Und deshalb müssen die beiden Elemente A und B sich einander nähern, bis wieder ein neues Gleichgewichtsverhältniß zwischen den oscillirenden Aetherelementen sich hergestellt hat. Kommt nun zu B noch ein zweites Element A' hinzu, so wird sich zwischen beiden das vorige Ereigniß wiederholen. Doch erfährt B keine Ortsveränderung, insofern es auf beiden Seiten derselben Einwirkung unterliegt; wohl aber müssen die beiden A (s. Fig. II.), weil der Druck ihrer Aethersphären auf der Außenseite das Uebergewicht hat, in der Richtung der Pfeile zu dem Element B hindrängen, bis ein gewisses Gleichgewicht zwischen den Druckverhältnissen aller drei Aethersphären eingetreten ist. Dabei können die letzteren dergestalt in einander getrieben werden, daß jedes Centralelement innerhalb der Sphäre des benachbarten Elements zu liegen kommt. Die drei Elemente A, B und A' verharren nun in bestimmten Abständen von einander, und jede Verrückung des einen Elements wird eine entsprechende Bewegung des anderen zur Folge haben. Nehmen wir z. B. an, daß das eine Element A' durch irgend eine Ursache etwas von dem mittleren entfernt werde, so ist das Gleichgewicht des Druckes von Seiten der beiden Sphären um A gegen B hin gestört. Die Sphäre des Elements A übt jetzt einen stärkeren Druck aus als die um A', so daß jene sammt dem Element B nach A hin fortrücken muß. Wird umgekehrt A' durch irgend eine Ursache in B tiefer eingedrückt, so werden natürlicher Weise auch die beiden anderen Elemente mit ihren Sphären eine Verrückung in demselben Sinne erfahren, falls ihnen in der Richtung des stärkeren Druckes freie Bewegung gestattet ist. Auch werden die drei Elemente stets eine lineare Anordnung zu behaupten suchen. Wäre das zweite A' mit B nicht gerade auf der entgegengesetzten Seite zusammengetroffen, sondern irgend wo anders, z. B. wie die Figur III. angiebt; so würde die Bewegung der Aetherelemente zwischen B und jedem A, da wo die Sphären in einander greifen, wie sonst verzögert werden. In diesem Falle könnte aber das Element B, während die beiden A tiefer in dasselbe einzudringen streben, nicht in Ruhe bleiben, weil es nicht wie oben nach entgegengesetzten Richtungen hin dieselbe Einwirkung erleidet, sondern es giebt jetzt für B zwei Richtungen des schwächeren Druckes, die mit einander einen Winkel einschließen. Nach diesen Richtungen, die man erhält, wenn man sich das Centrum der Sphäre um B, also das letztere selbst mit den beiden anderen Centralelementen durch gerade Linien verbunden denkt, strebt das Element B nach A und A' hin. Die wirkliche Bewegung des Elements B muß demnach in einer mittleren Richtung

I.



II.

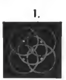


III.



erfolgen, und daraus resultirt, indem B zwischen A und A' tiefer eindringt, nothwendig eine lineare Anordnung dieser drei Elemente. — Drei Elemente von der Art A werden um das eine Element B ein gleichseitiges Dreieck, vier ein Quadrat und acht einen Cubus um dasselbe formiren (s. Fig. I.). Da nun die Aetherelemente, welche den nicht in einander greifenden Theilen der Sphären angehören, gegen die betreffenden Centralelemente A einen stärkeren Druck ausüben als die auf der Innenseite befindlichen Aetherelemente, so werden die Elemente A nach dem mittleren Element B hingetrieben. Sobald aber dem äußeren Drucke, nach Herstellung eines gewissen Gleichgewichts, wieder ein innerer Druck von angemessener Stärke entgegenwirkt, müssen die Elemente A in bestimmten Abständen von B verharren.

I.

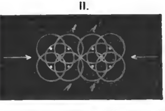


Die Atome oder Elemente A, so durch ihre Aethersphären mit dem Element B verbunden und um dasselbe gruppirt, bilden Molecüle oder kleinste Massentheilchen von bestimmter Gestaltung. Jene Elemente können nicht in unbegrenzter Anzahl, sondern höchst wahrscheinlich nur nach einem bestimmten quantitativen Verhältniß sich um das eine Element B in angemessener Weise gruppiren, so daß, wenn ihrer sehr viele mit dem letzteren zusammentreffen, Bewegungsverhältnisse entstehen, durch welche ein Theil derselben entfernt und von der Verbindung ausgeschlossen wird. Dagegen können solche Elemente A mit einem neuen B ein zweites Massentheilchen dieser Art bilden, u. s. f. Die Gestalt dieser Molecüle ist aber durch das eben erwähnte quantitative Verhältniß bedingt. Wie nun zwei Elemente A, falls sie auf ein Element B treffen, mit diesem eine lineare Anordnung bilden, so müssen auch mehrere A sich auf eine bestimmte regelmäßige Weise um Ein B gruppiren, wie es das Gleichgewicht zwischen den Druckverhältnissen der verschiedenen Aethersphären um A gegen die Sphäre um B verlangt.

Bei anderen Massentheilchen kann, gemäß dem Gegensatze der sie constituirenden Grundelemente, das quantitative Verhältniß und die Gestaltung eine andere sein. Wenn z. B. Ein Element C sechs andere Elemente von der Art A dauernd um sich gruppiren kann, so werden die letzteren zusammen ein Octaëder um das erstere bilden.

Viele Massentheilchen von derselben Art können sich nun zu einem größeren gleichartigen Ganzen gruppiren, wenn sie mit einander in hinreichend nahe Berührung kommen. Treffen z. B. zwei würfelförmige Massentheilchen zusammen, so wird zwischen den Aethersphären A, A' (Fig. II.) das bereits in Erwägung gezogene Ereigniß stattfinden; die Aetherelemente an der Berührungsseite werden in ihrer Bewegung, nach den Centralelementen hin, verzögert, so daß der Druck nach der entgegengesetzten Seite hin vermindert wird. Da also der äußere Druck in der Richtung der Pfeile das Uebergewicht hat, so werden die beiden Massentheilchen tiefer in einander gedrängt und die Hauptcentralelemente derselben einander näher gerückt; es ist so, als ob zwischen beiden eine gegenseitige Anziehung stattfände. Aber auch hier muß sich ein bestimmtes Gleichgewicht zwischen dem inneren und äußeren Druck herstellen; und wie schon jedem kleinsten Massentheilchen

II.



eine bestimmte Gestalt und, gemäß dem Abstande seiner Grundbestandtheile, eine bestimmte Dichte zukommt, so gilt dies auch von dem größeren Ganzen, das aus einer gewissen Anzahl von Massentheilchen constituirt ist. Die Grundelemente der letzteren können durch äußere Einwirkungen (Zug und Druck) von einander entfernt und einander genähert werden, aber sie streben mit Nothwendigkeit stets wieder zurück in die normale Position, welche durch das Gleichgewicht jener Druckverhältnisse bedingt ist. Daher ist die Materie innerhalb gewisser Grenzen, die bei verschiedenen Arten natürlich mehr oder weniger weit aus einander liegen, vollkommen elastisch.

Aus solchen kleinsten Massentheilchen müssen wir uns alle Körper zusammengesetzt denken, unter ihnen auch die Metalle, so wie überhaupt die sogenannten chemischen Grundstoffe. Die Elemente aber, welche diese Massentheilchen constituiren, können durch ihre Kraftverhältnisse so unauflöslich mit einander verknüpft sein, daß nur die Verbindung der Massentheilchen unter einander einer Trennung fähig ist. Die Massentheilchen ungleichartiger Körper vereinigen sich dagegen in bestimmten Verhältnissen, welche die Chemie lehrt, zu neuen Massentheilchen höherer Ordnung, welche sich wieder zu einem größeren Ganzen gruppiren können. Dies muß im Allgemeinen nach denselben Gesetzen geschehen, welche für die ursprünglichen Elemente galten, als sie sich zu jenen kleinsten Körpertheilchen mit einander vereinigten. Was aber die Gestalt der Theilchen (Molecüle) des neu entstandenen Körpers betrifft, so hängt dieselbe natürlich von den Formen der kleinsten Massentheilchen (oder Molecüle) ab, welche den ungleichartigen Stoffen, aus denen er sich bildet, zugehören. Aus den Betrachtungen, die wir darüber angestellt haben, folgt, daß die Gestalt derselben meistens eine polyedrische sein wird.

Massentheilchen von bestimmter regelmäßiger Form können sich so mit einander verbinden, daß das aus ihnen gebildete Ganze im Innern und Aeußeren eine große Regelmäßigkeit zeigt, so daß also der Abstand der Atome und Massentheilchen nach allen Richtungen derselbe ist. Aber es lassen sich noch mehr Fälle denken, wo dies nicht stattfindet, Fälle, wo der Abstand der einzelnen Elemente oder Atome nach verschiedenen Richtungen ein ungleicher wird, wenn verschiedenartige Massentheilchen sich zu einem neuen zusammensetzen. Dann wird natürlich auch der aus diesen neuen Massentheilchen bestehende Körper nach verschiedenen Richtungen eine ungleiche Dichte haben müssen, was eben so für den Aether gilt, der um die einzelnen Atome gruppirt ist und mit diesen die Materie constituiren hilft.

Alle Massentheilchen, deren Elemente in demselben quantitativen Verhältnisse zu einander stehen, müssen dieselbe Gestalt annehmen, falls die sonstigen Umstände gleich sind. Besteht z. B. ein Massentheilchen aus Einem Element von der Art b und acht Elementen von der Art a, so wird seine Gestalt ein Würfel sein. Dieselbe Gestalt wird aber auch ein Massentheilchen annehmen, welches aus den Elementen β und α in dem Verhältnisse von 1 : 8 zusammengesetzt ist. Denn in dem einen, wie in dem anderen Falle werden die acht gleichartigen Elemente sich auf Grund derselben Kraftverhältnisse um das entgegengesetzte möglichst gleichmäßig zu gruppiren suchen. Die Gestalt wird daher dieselbe sein, mögen auch die Elemente der Massentheilchen in beiden Fällen noch so verschieden sein. Ein gleiches Verhalten muß nun auch bei verschiedenen chemisch zusammengesetzten Körpern stattfinden, deren ungleichartige Massentheilchen (Atomgruppen) in demselben quantitativen Verhältnisse zusammentreten. Doch kann hier, wo die nächsten constituirenden Bestandtheile nicht einfache Elemente, sondern Combinationen aus

denselben sind, bei verschiedenen Körpern neben der gleichen äußeren Krystallgestalt, die durch das gleiche quantitative Verhältniß jener Bestandtheile bedingt ist, auch eine gewisse Verschiedenheit in der inneren physikalischen Constitution bestehen, welche ihren Grund darin haben könnte, daß die einfachen Atome in den Massentheilchen dieser Körper nicht eine vollkommene gleiche Anordnung besitzen. (Vergl. Art. Isomorphismus.)

Die Atome derselben Massentheilchen, welche in bestimmten quantitativen Verhältnissen einen Körper bilden, können unter verschiedenen Umständen sich auf verschiedene Weise gruppiren und dadurch Verbindungen liefern, welche bei derselben procentischen Zusammensetzung und demselben Atomgewichte eine sehr merkliche Verschiedenheit in ihrer chemischen Natur zeigen. Derartige Verbindungen nennt man in der Chemie metamerische, während man unter polymerischen Körpern solche versteht, welche bei gleicher procentischer Zusammensetzung ein verschiedenes Atomgewicht besitzen, so daß also hier die absolute Anzahl der verschiedenartigen Atomgruppen, welche in die Verbindung eingehen, nicht dieselbe ist. Die organische Chemie giebt zahlreiche hierher gehörige Beispiele. Zu dem letzteren Falle gehören in der unorganischen Chemie die unterschwefelige Säure ($S^2 O^2$) und die Pentathionsäure ($S^5 O^5$), die beide aus Schwefel und Sauerstoff in demselben relativen Verhältniß bestehen. (Vergl. Art. Isomerie.)

Wenn ungleichartige Massentheilchen sich zu einem neuen Massentheilchen höherer Ordnung zusammensetzen, so findet dabei, nach den bereits dargelegten Principien, ein tieferes Ineinandergreifen derselben, also eine Verdichtung statt. Die Elemente der Aethersphären gerathen in neue Oscillationszustände, die sich durch den Aether im umgebenden Raume auf die Aethersphären anderer Körper übertragen, deren Grundbestandtheile dann gleichfalls einer gewissen Einwirkung unterliegen müssen. Man erkennt nun leicht, daß hieraus die Erscheinungen des Lichts und der Wärme resultiren können, welche mit chemischen Verbindungen und Trennungen so häufig verbunden sind. Diese Erscheinungen haben ihren Ursprung an der Materie, insofern als der Aether einen wesentlichen Bestandtheil derselben ausmacht; sie gehen von der Materie aus, und können sich, weil jene Bewegung der Aetherelemente auf den benachbarten Aether übergeht, weiter im Umgebungsraume fortpflanzen.

Wenn nun die Aethersphären verschiedener Elemente so weit in einander greifen, daß jedes Centralelement der einen Sphäre von der anderen umschlossen ist (s. Fig. S. 944), so wird dadurch ein festerer Zusammenhalt zwischen diesen Elementen bewirkt, die dann nicht nur in bestimmten Abständen (s. Fig. I.), sondern auch in einer bestimmten gegenseitigen Lage zu verharren streben. Und dies entspricht dem Falle der starren Materie. Wenn aber irgend eine Ursache eine solche oscillatorische Bewegung der Aetherelemente veranlaßt, welche dem Drucke der Aethersphären von Innen nach Außen das Uebergewicht verschafft, so werden sich die Centralelemente bis zur Herstellung eines neuen Gleichgewichts von einander entfernen müssen. Geht nun diese Entfernung so weit, daß das eine Centralelement aus der Sphäre des benachbarten Elements herausgerückt wird (s. Fig. II.), dergestalt also, daß nur noch ein Ineinandergreifen der Aethersphären stattfindet, so ist die Aggregation der Elemente eine andere geworden. Die eine Aethersphäre wird sich jetzt leicht an der anderen verschieben lassen, wobei das betreffende Centralelement eine Drehung um



das andere erfährt. Diese Elemente haben dann eine leichte, freie Beweglichkeit nach allen Richtungen gewonnen, und dies ist das charakteristische Kennzeichen der tropfbaren Flüssigkeiten. Es versteht sich aber von selbst, daß das eben Erörterte noch gerade so gelten wird, wenn man anstatt der einfachen Atome Atomgruppen oder Massentheilchen als Centra der Aethersphären annimmt. Wirkt nun die Ursache, welche in Folge einer oscillatorischen Bewegung der Aetherelemente den Druck der Sphären von Innen nach Außen verstärkt, fort, so werden die Centralmassentheilchen immer weiter von einander entfernt; ihre Sphären greifen nicht mehr in einander ein, hören aber darum nicht auf, mittelst der zwischen ihnen gelegenen Aetherelemente gegen einander zu wirken. Und hierdurch ist im Wesentlichen der gasförmige Aggregatzustand der Materie charakterisirt.

Die Erscheinungen der Elektricität haften, wie die des Lichts und der Wärme, an der Materie; sie treten an derselben durch die verschiedenartigsten Ursachen hervor, können sich aber gleichfalls weiter in dem umgebenden Raum fortpflanzen und dadurch an und in anderen Körpern auf bestimmte Weise wiederholen. Auch diese Erscheinungen werden höchst wahrscheinlich durch bestimmte Gleichgewichts- und Bewegungsverhältnisse der Aetherelemente bewirkt, wobei jedoch noch sehr fraglich ist, ob alle Erscheinungen des Lichts, der Wärme und Elektricität durch eine und dieselbe Aetherart bedingt sind. Was dagegen den Magnetismus anlangt, so weiß man, daß derselbe sein Wesen hat in einer Polarität, d. h. in einem gewissen Gegensatze, dessen ungleichartige Glieder schon in jedem kleinsten Massentheilchen der betreffenden Körper als vorhanden angenommen werden müssen. Da nun nach unseren Principien die kleinsten Theilchen der Materie aus ungleichartigen Elementen constituirt sind, so ist es uns wahrscheinlich, daß der Magnetismus wesentlich in der Constitution der Materie begründet ist, so jedoch, daß eine besondere Anordnung der Grundelemente erforderlich ist, wenn derselbe wirklich hervortreten soll. Mit diesen Erörterungen müssen wir uns hier begnügen, indem wir auf die Artikel verweisen, in welchen die genannten Erscheinungen Gegenstand einer speciellen Betrachtung sind.

Die Grundelemente, aus welchen die sichtbare Natur constituirt ist, werden also vermittelst ihrer Aethersphären in bestimmten Abständen von einander gehalten, ohne daß das eine Element unmittelbar auf das andere wirkt. Aus der oben angestellten Untersuchung läßt sich aber erkennen, daß die Materie, vermöge der Anordnung oder Gruppirung der sie constituirenden einfachen Elemente, überall, sowohl in ihren näheren als auch in ihren entfernteren Bestandtheilen bis zu den kleinsten Massentheilchen herab, eine bestimmte Gliederung besitzen muß, die wohl mannichfach modicifirt, aber niemals ganz aufgehoben werden kann.

Eine unmittelbare Wirkung in die Ferne (durch den leeren Raum) findet nach unseren Principien weder zwischen den einfachen Elementen, noch zwischen den aus diesen bestehenden Moleculen, noch endlich zwischen größeren Massen statt, welche aus solchen Moleculen zusammengesetzt sind. Auch deutet die Erfahrung nur in einzelnen Fällen scheinbar auf eine derartige Wirkung hin. Die chemischen Processe erfordern durchweg eine innige Berührung der Körpertheilchen, und von den meisten physikalischen und mechanischen Processen gilt dasselbe. Eben so ist es bei der Wechselwirkung zwischen den Körpern und unseren verschiedenen Sinnesorganen, durch welche wir die sinnlichen Eigenschaften der Körperwelt kennen lernen. Das Tastorgan, welches uns die Materie als etwas Raumerfüllendes zu erkennen

giebt, muß mit derselben in Berührung kommen, und auch das Geschmacks- und Geruchsorgan reagiren nur gegen Körpertheilchen, mit denen sie in wirkliche Berührung treten. Die Erscheinungen des Schalles haben aber bekanntlich ihre Ursache in einer schwingenden Bewegung der Körpertheilchen, welche auf die Theilchen der umgebenden Luft sich überträgt und hierdurch zu unserem Gehörorgane gelangt, das gleichfalls mit der Luft in Berührung steht. Sollten nun die Körper dem Auge unmittelbar ihre Gestalten aufdringen? Oder werden nicht vielmehr die Empfindungen desselben ebenfalls durch irgend Etwas vermittelt, das zwischen dem Sehorgane und dem sichtbaren Körper vorhanden ist? Wir können diese Frage nur bejahen; denn alle Erscheinungen des Lichts lassen sich, wie man weiß, mit Evidenz aus der schwingenden Bewegung gewisser Aetherelemente erklären, durch eine Bewegung, die von der Materie aus angeregt wird, so daß zwischen diesen Erscheinungen und denen des Schalles eine gewisse Analogie besteht. Auch von den Wirkungen der Elektricität und des Magnetismus (s. d. Art.) können wir mit Grund behaupten, daß dieselben durch eine gewisse Vermittelung von einem Körper auf den anderen übergehen. So bleibt nur noch ein Fall einer scheinbar unmittelbaren Wirkung in die Ferne übrig. Was sollen wir nämlich halten von jenen Körpern im Himmelsraume, die, wie nicht geleugnet werden kann, nach einem gewissen Gesetze in weiten, aber bestimmten Abständen bei einander gehalten werden, so daß sich jeder Körper in einer gesetzmäßigen Bahn, die durch den Einfluß der übrigen (zu einem größeren Ganzen gehörigen) Körper bedingt ist, bewegt? So besteht unser Sonnensystem aus einer Menge von selbstständigen Körpern, die alle in demselben Sinne um die Sonne kreisen, während gleichzeitig einige wieder die Centralkörper von anderen kleineren sind. Dies Alles erklärt sich, wenn man annimmt, daß zwei Körper sich wechselseitig im directen Verhältnisse der Massen und im umgekehrten des Quadrates ihrer Entfernung anziehen; und eben daraus erklärt sich die freie, beschleunigte Bewegung der Körper, wenn diese in einem gewissen Abstande von der Erdoberfläche sich selbst überlassen werden. Während hier nur die Anziehung zwischen der Erde und dem fallenden Körper wirkt, welche den letzteren in Berührung mit dem ersteren bringt, findet bei den Körpern im Himmelsraume noch eine tangentiale Wirkung statt, die im Verein mit der Anziehung und der hierdurch bewirkten Bewegung nach dem Centralkörper hin eine kreisende Bewegung in geschlossener Bahn hervorbringt. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Himmelskörper nach einem bestimmten Gesetze in bestimmten Entfernungen bei einander gehalten werden, während sie ihre Bahnen im Weltenraume vollführen, aber die Erfahrung sagt uns gewiß nicht, daß dies die Folge eines unmittelbaren wechselseitigen Einflusses der betreffenden Körper sei, obschon man sich allerdings denken kann, daß die Bewegungserscheinungen derselben so vor sich gehen, als ob sie durch eine gegenseitige Anziehung bewirkt würden, welche im directen Verhältnisse der Massen und im umgekehrten des Quadrats der Entfernung je zweier Körper oder Körpertheilchen steht. Indessen kann man diesem Gesetze einen mehr thatsächlichen Charakter verleihen, wenn man sagt: Zwei Körper (oder Körpertheilchen) im Raume haben die Tendenz, sich zu einander hinzubewegen, dergestalt, daß dieselbe, in der eben ausgesprochenen Weise, von ihren Massen und ihrer Entfernung abhängig ist. Die Frage nach der Ursache dieser Tendenz (oder auch der Gravitation) kann man dann einstweilen dahingestellt sein lassen. Wollten wir jedoch eine unmittelbare Anziehung

zwischen diesen Körpern (durch den leeren Raum) annehmen, so möchte eine solche Hypothese wohl sehr wenig geeignet sein, unsere Einsicht in den wahren Zusammenhang der betreffenden Erscheinungen zu fördern. Wie wenig aber Newton selbst, der jenes Gravitationsgesetz auffand, einer derartigen Annahme geneigt war, ergiebt sich aus folgender Stelle *), die in seinem dritten Briefe an Bentley vorkommt: „daß der Materie die Schwerkraft angeboren, inhärirend und wesentlich sei, so daß ein Körper auf einen anderen in der Ferne durch ein Vacuum wirken könnte, ohne Vermitteiung von Etwas, womit und wodurch die Wirkung und die Kraft von dem einen zum anderen fortgeführt würde, ist für mich eine so große Ungereimtheit, daß ich glaube, Keiner, der in philosophischen Dingen eine competente Fähigkeit des Denkens besitzt, könne jemals in dieselbe verfallen. Gravitation muß durch ein beständig nach gewissen Gesetzen wirkendes Agens erzeugt werden." Ob aber dieses Agens als materiell oder immateriell, und wie es als wirksam zu denken sei, überläßt Newton einer ferneren Untersuchung.

Unsere Principien führen nun, consequent verfolgt, gewissermaßen von selbst dahin, daß der Aether nicht allein die einfachen Grundelemente der Materie und die aus ihnen constituirten Massentheilchen zusammenhalte, sondern auch zwischen den größeren aus solchen Massentheilchen bestehenden Körpern eine gewisse Gemeinschaft unterhalten müsse. Wie der Aether sich um jedes Grundelement und Massentheilchen der Materie gruppirt, so wird derselbe auch um jeden größeren Körper eine Sphäre bilden, die sich abwechselnd ausdehnt und zusammenzieht, indem ihre Elemente abwechselnd zu dem Körper hin- und von ihm hinweggehen. Die Verbreitung einer solchen Sphäre im Raume wird von der Masse und Größe des Körpers, welchem sie zugehört, abhängen. Denken wir uns nun zwei Körper, etwa zwei Kugeln, in einer gewissen Entfernung von einander, so daß ihre Sphären in einander greifen können, so wird zwischen beiden Körpern eine Verzögerung der oscillirenden Bewegung des Aethers stattfinden; dadurch gewinnt der äußere Druck der Aethersphären das Uebergewicht, zufolge dessen sich diese Körper zu einander hin bewegen müssen, so, als ob sie sich gegenseitig anzögen. Ist aber der eine Körper im Verhältniß zum anderen sehr klein und in die Aethersphäre des letzteren eingetaucht, so wird derselbe bei jeder Contraction dieser Sphäre einen Antrieb zur Bewegung nach dem größeren Körper hin erlangen. Jede einzelne Wirkung dieser Art wird zwar nicht so energisch sein, als wenn zwei ungleichartige Elemente oder Massentheilchen mit ihren Sphären gegenseitig in einander greifen, aber es findet hier eine Summation der Wirkungen statt, aus der eine beträchtliche Gesammtwirkung resultiren kann. In dem Moment also, wo die Sphäre des größeren Körpers sich zusammenzieht, wird auf den kleineren ein Druck ausgeübt, der ihn nach jenem hintreibt, so als ob hier eine Anziehung, die Gravation, ihren Sitz hätte. Diese Bewegung, welche sich fortsetzt, während die Sphäre sich ausdehnt und verdünnt, wird durch jede folgende Contraction des Aethers verstärkt. Alle Massentheilchen des bewegten Körpers erfahren von Seiten des sich zusammenziehenden Aethers denselben Druck, und wenn dieser Körper im Verhältniß zum anderen von sehr geringer Ausdehnung ist, so werden alle seine Massentheilchen von gleichen, parallelen Druckkräften getrieben. Hiervon können wir nun sogleich eine Anwendung machen auf die nähere Bestimmung der

*) Newton's Works, Horsley's Edit. 4°, 1783. Vol. IV. p. 438.

Wirkung, welche irgend ein Weltkörper auf andere kleinere Körper ausübt, die sich innerhalb seiner Aethersphäre befinden, z. B. auf die Wirkung der Erde gegen irgend einen Körper, wenn derselbe in einer gewissen Entfernung von ihrer Oberfläche sich selbst überlassen wird.

Jede Contraction des schwingenden Aethers, der um die Erde in der Form einer Sphäre gruppirt ist, ertheilt einem solchen Körper eine gewisse Geschwindigkeit, die durch jede folgende Contraction vermehrt wird. Diese Einwirkung wiederhole sich allemal nach Verlauf des m^{ten} Theiles einer Secunde, die als Zeiteinheit angesehen werde. Der Körper wird dann, während dieser Zeiteinheit, eine Anzahl m jener Einwirkungen erfahren, die zusammen ihm eine bestimmte Geschwindigkeit $= g$ ertheilen werden. Die Geschwindigkeit, welche durch eine einzige Contraction des oscillirenden Aethers bewirkt wird, ist demnach $\frac{g}{m} = p$, und der Weg, welchen der Körper mit derselben in dem Zeittheilchen $\frac{1}{m} = r$ durchfällt, $= \frac{g}{m^2} = p\,r$. Mit Rücksicht auf die nach einander folgenden Zeittheilchen $o, r, 2r, 3r, \ldots\ldots n r$ hat man nun für die von den Einwirkungen des Aethers herrührenden Geschwindigkeiten, am Anfange eines jeden solchen Zeittheilchens, der Reihe nach $p, 2p, 3p, \ldots\ldots n p$, und für die während dieser Zeittheilchen durchlaufenen Wege $p r, 2 p r, 3 p r, \ldots\ldots n p r$. Die Summe aller dieser Wege ist $s = p r\,(1 + 2 + 3 + \ldots\ldots + n) = p r\,(1 + n)\frac{n}{2}$ oder, wenn man für p und r ihre obigen Werthe setzt, $= \frac{g}{2}\left(\frac{n}{m^2} + \frac{n^2}{m^2}\right)$.

Bezeichnet man nun die beliebige Anzahl von Zeittheilchen, deren jedes $= \frac{1}{m}$ ist, nämlich $\frac{n}{m}$, mit t, so hat man $n = m t$ und daher auch $s = \frac{g}{2}\left(\frac{m t}{m^2} + \frac{m^2 t^2}{m^2}\right) = \frac{g t^2}{2} + \frac{g t}{2 m}$.

Das zweite Glied dieser Formel wird aber um so kleiner, je größer m, d. h. je schneller die Contractionen des schwingenden Aethers auf einander folgen, oder in je kürzerer Zeit die Aetherschwingungen vollendet werden. Nimmt man nun an, daß die Schwingungszeit außerordentlich klein ist, oder daß die Schwingungen ungemein rasch auf einander folgen, so kann man $n = \infty$ setzen, zufolge dessen das zweite Glied jener Formel verschwindet. Daher $s = \frac{1}{2}\,g\,t^2$.

Setzt man aber in dem Ausdrucke $n p = \frac{n g}{m}$ der durch n Aethercontractionen bewirkten Geschwindigkeit: $n = m t$, so erscheint $c = g t$ für die Geschwindigkeit, welche der Körper während der Zeit t erlangt hat, wo g immer, seinem obigen Begriffe gemäß, die in der Zeiteinheit erzeugte Geschwindigkeit ist.

Die Formeln $c = gt$ und $s = \frac{1}{2} g t^2$ drücken nun bekanntlich die Bewegungsgesetze der frei nach der Erde hin fallenden Körper aus. Das Resultat jener Aetherschwingungen ist also dasselbe, als ob die Bewegung dieser Körper von einer continuirlich wirkenden Kraft herrührte. Man betrachtet die Schwere als eine solche Kraft, nimmt jedoch häufig, um die betreffenden Gesetze abzuleiten, an, daß dieselbe stoßweise wirke. Dadurch zerlegt man die gleichförmig beschleunigte Bewegung, der eben dargelegten Entwickelung gemäß, in eine Folge von gleichförmigen Bewegungen, die zusammen sich jener um so mehr nähern, je schneller die stoßweisen Wirkungen auf einander folgen. Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, daß die Aethercontractionen eine gleichförmig beschleunigte Bewegung der fallenden Körper bewirken werden, sobald nur die Schwingungszeit des Aethers so klein ist, daß das zweite Glied in der obigen Formel für s in Bezug auf das erste vernachlässigt werden kann. Auch kann man bei der Betrachtung des freien Falles der Körper von verhältnißmäßig geringen Höhen annehmen, daß die auf einander folgenden Contractionen des schwingenden Aethers gleich sind. Sonst muß aber die Wirkung mit der Entfernung von der Erde abnehmen; denn je weiter die Aetherschichten von der Oberfläche der Erde entfernt liegen, desto geringer ist ihr Zusammenhang mit der letzteren, und von diesem Umstande hängt die Intensität der Wirkung ab. Da nun die Oberflächen verschiedener Kugelschichten sich verhalten wie die Quadrate ihrer Halbmesser, so wird die Wirkung mit dem Quadrate der Entfernung abnehmen.

Wie die Körper über der Oberfläche der Erde sich zu dieser, so werden sich die verschiedenen Planeten in der Aethersphäre der Sonne, ihres Centralkörpers, verhalten, so weit es ihr Bestreben betrifft, sich nach dem letzteren hinzubewegen. Viele Weltkörper zusammen genommen können aber den Aether zu einem solchen Systeme von Schwingungen veranlassen, als ob dasselbe von ihrem gemeinschaftlichen Schwerpunkte ausginge. Die Contraction oder Rückwirkung des schwingenden Aethers wird sie dann alle gegen ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt hintreiben, so als ob in diesem die Gravitation ihren Sitz hätte.

Der große Reichthum von Erscheinungen, welchen die gegebene Natur darbietet, läßt sich durch eine vergleichende Betrachtung in verschiedenartige Gruppen sondern, deren jede, in Hinsicht auf ihr Ursächliches, Gegenstand einer Specialuntersuchung werden kann. Die Körper aber, an welchen die mannichfachen Naturerscheinungen zu Tage treten, sind bis zu gewissen Grenzen chemisch und mechanisch theilbar. Die chemische Theilbarkeit führt jeden zusammengesetzten Körper zurück auf eine Mannichfaltigkeit einfacherer Bestandtheile, die in einem gewissen Gegensatze zu einander stehen. Die mechanische Theilbarkeit liefert dagegen Theilchen, die dem Ganzen, aus dem sie hervorgehen, gleichartig erscheinen. Von den kleineren Theilchen gelangt man im Denken, gestützt auf die Analysis des Gegebenen, zu kleinsten Massentheilchen, die noch die Natur des größeren materiellen Ganzen, das sie zusammen bilden, an sich haben. Die kleinsten Massentheilchen eines jeden Körpers sind endlich Combinationen jener absolut einfachen Atome, aus deren Kraftverhältnissen sie (die Massentheilchen) resultiren. Es liegt nun im Begriff dieser Atome, daß sie auf eine Mannichfaltigkeit noch einfacherer Bestandtheile nicht zurückgeführt werden können. Mit der Annahme derselben sind

wir zu einer nothwendigen Grenzvorstellung gelangt, die wir, so lange man im Bereiche der uns gegebenen Natur verweilt, nicht zu überschreiten brauchen. Doch liegt die Möglichkeit vor, daß selbst die einfachen Atome noch durch etwas Anderes, von ihnen völlig Verschiedenes, bestehen, das aber für sie alle dasselbe sein muß, und von dem sie alle auf gleiche Weise abhängen werden. Die Art und Weise indeß, wie die vielen einfachen Wesen (Atome) von dem Einen abhängen, vermögen wir hier, auf dem Standpunkte der Physik, nicht näher zu bestimmen. Wir stehen vor der Pforte des religiösen Glaubens und schließen, indem wir die Möglichkeit dieser Abhängigkeit anerkennen, mit dem Spruche des Apostel Paulus: „Es sind mancherlei Kräfte, aber es ist Ein Gott, der da wirket alles in allen."

Maximum- und Minimumthermometer, s. Thermometer.

Mechanik ist die Wissenschaft von den Bewegungsgesetzen materieller Körper. Insofern nun diese Wissenschaft es mit Körpern und mit auf die Materie wirkenden Ursachen — Kräften — zu thun hat, gehört sie zu den physikalischen Wissenschaften, insofern aber die Bewegungserscheinungen räumlich und alle Elemente derselben zugleich meßbar sind, gehört die Mechanik auch zu den mathematischen Wissenschaften, und läßt nicht nur eine streng mathematische Behandlung zu, sondern verlangt dieselbe nothwendig. So wie die Mathematik, ausgehend von den Begriffen des Raumes und der Zahl, sich als selbstständige, abstracte Wissenschaft erbaut, so läßt sich auch eine eben so selbstständige, abstracte Wissenschaft der Mechanik denken; denn wenn zu jenen mathematischen Grundbegriffen des Raumes und der Zahl noch die empirischen Grundbegriffe der Zeit, der Materie und der Kraft hinzugenommen werden, so läßt sich durch bloße Thätigkeit des Verstandes, durch Combination jener Grundbegriffe und ihrer Grundbeziehungen zu einander eine selbstständige Wissenschaft der Bewegungsgesetze entwickeln, die unter dem Namen der reinen oder analytischen Mechanik bekannt ist; ihr gegenüber steht die angewandte Mechanik, welche die Anwendung der mechanischen Gesetze zur Benutzung der besonderen Naturkräfte lehrt und in der Lehre von den Bauconstructionen und in der Maschinenlehre ihre Hauptzweige besitzt.

Die mechanische Bewegung ist eine zeitliche (in der Zeit vor sich gehende) Ortsveränderung eines räumlichen Gegenstandes, deren wissenschaftliche Auffassung auf dem Begriffe des Weges und der darin liegenden Richtung und auf dem Begriff der Geschwindigkeit als des Verhältnisses von Weg und Zeit zu einander beruht. Hieraus gehen dann die weiteren Begriffe von Beschleunigung und Verzögerung hervor, so wie die bekannte Eintheilung der verschiedenen Bewegungsarten. (Siehe d. Art. Bewegung Bd. I. S. 806 ff.)

Die Materie, als das den Raum Füllende, ist in bestimmter Begrenzung die Masse eines Körpers und führt, wenn das Verhältniß des Massenquantums zum Raumquantum eines Körpers gedacht wird, zum Begriff der Dichte. Die Materie, als solche, hat die Ursache ihrer Bewegung nicht in sich, sondern außer sich, und diese außer der Materie vorhandene (aber vielleicht einem anderen Körper zugehörige) Bewegungsursache — mechanische Kraft — ist ohne weitere Rücksicht auf ihre besondere Beschaffenheit charakterisirt: 1) durch einen bestimmten Angriffspunkt, 2) durch eine bestimmte Richtung und 3) durch eine gewisse Intensität, nach welcher die einzelnen Kräfte meßbar, d. h. unter sich vergleichbar sind.

Die Körper, auf welche die bewegenden Kräfte einwirken, sind entweder frei, d. h. ihre Bewegung ist auf dem von diesen Kräften vorgeschriebenen Wege möglich, oder unfrei, d. h. die betreffende Bewegung ist gehindert; die Wirkung der bewegenden Kraft bei jenen ist natürlich die Bewegung, bei diesen aber ein Druck oder Zug. Druck und Bewegung aber als eventuelle Wirkungen derselben Kraft müssen auch in Vergleich zu einander gesetzt werden können. Der Druck (s. d. Art.) ist vorzüglich geeignet, die verschiedenen Kräfte unter einander zu vergleichen, und da das Gewicht nichts weiter ist, als ein Druck, den die verbreitetste mechanische Kraft, die Schwerkraft, in Körpern, welche auf einer festen Unterlage liegen, hervorbringt, so ist die Gewichtseinheit, das Pfund, auch besonders geeignet, als allgemeines Maß aller bewegenden Kräfte zu dienen. Nun aber bringt dieselbe Kraft, deren Intensität also durch eine gewisse Anzahl Pfunde ausgedrückt werden kann, in anderen Verhältnissen eine Bewegung hervor; wird aber diese Bewegung als Wirkung jener Kraft aufgefaßt, so kommt bei ihr in Betracht: 1) die Masse des bewegten Körpers, 2) die Geschwindigkeit desselben und 3) die zur Erzeugung der Bewegung nöthige Zeit. Da nun in der Geschwindigkeit, welche eine Kraft in der Masseneinheit während der Zeiteinheit erzeugt, ein einfacher Ausdruck der Kraftwirkung erscheint, so folgt daraus leicht, daß zwei Kräfte sich verhalten wie die bewegten Massen und wie die in gleichen Zeiten erzeugten Geschwindigkeiten.

Jede Bewegung erscheint für sich immer nur als eine einzelne, die Ursachen der Bewegung, die Kräfte, können aber mehrfach gedacht werden. Es fragt sich also, welche Bewegungen bringen mehrere Kräfte zusammen hervor. Jeder einzelnen Kraft entspricht eine besondere Bewegung, die sie hervorbringen würde, wenn sie allein auf den Körper wirkte; insofern also mehrere Kräfte zugleich auf diesen Körper wirken, werden mehrere Bewegungen auf diesen Körper übertragen, und daraus entsteht immer nur eine einzelne Bewegung. Von welcher Art das Resultat dieser Uebertragung ist, läßt sich an einem einfachen Vorgange einsehen. Geht z. B. Jemand auf dem Verdeck eines sich bewegenden Schiffes, so besitzt er zu gleicher Zeit zwei Bewegungen, seine eigene, in Folge seines Gehens, und die Bewegung des Schiffes; das Resultat dieser Verknüpfung zweier Bewegungen ist, daß die wirklich in einer bestimmten Zeit eintretende Ortsveränderung eben dieselbe ist, welche eintreten würde, wenn beide besondere Bewegungen getrennt und hinter einander vor sich gehend gedacht werden. Was von zwei Kräften gilt, das gilt auch von mehreren Kräften, und man kann stets die durch die gleichzeitige Wirkung mehrerer Kräfte auf einen Körper in bestimmter Zeit hervorgebrachte Ortsveränderung finden, wenn man die den einzelnen Kräften entsprechenden Ortsveränderungen unter Beibehaltung ihrer Größe und Richtung hinter einander erfolgend sich vorstellt *). Die hierbei in der Vorstellung entstehende gebrochene Linie kann nun in gewissen Fällen von der Art sein, daß ihr Endpunkt in ihren Anfangspunkt zurückführt, in welchem Falle dann durch die gemeinsame Wirkung aller einzelnen Kräfte gar keine Ortsveränderung, d. i. gar keine Bewegung hervorgebracht wird. Der Zustand dieses gegenseitigen Verhältnisses mehrerer Kräfte unter einander, bei welchem sie zusammen keine Bewegung hervorbringen, während doch jede einzelne von ihnen allein eine Bewegung hervorbringen würde, heißt

*) Vergl. hierzu Art. Bewegung. Bd. I. S. 816 ff.

Gleichgewicht. Hieraus folgt nun, daß das Gleichgewicht stets nur die Wirkung mehrerer — mindestens zweier Kräfte ist, und daß zwei Kräfte nur dann Gleichgewicht hervorbringen können, wenn sie gleichgroß und in ihrer Richtung einander genau entgegengesetzt sind.

Strebt ein Körper sich in einen Raum zu bewegen, in welchem sich schon ein anderer befindet, oder in welchen gleichzeitig ein anderer eintritt, so ist die Bewegung, wegen der Undurchdringlichkeit der Materien, nicht so möglich, wie sie eintreten würde, wenn jener zweite Körper nicht vorhanden wäre. In der Anwesenheit dieses zweiten Körpers liegt also eine Ursache zur Abänderung der ursprünglichen Bewegung des ersten Körpers, d. h. also eine Kraft, die als Kraft des Widerstandes bezeichnet wird. Wie nun diese Widerstandskraft wirkt, das lehrt die Betrachtung des einfachsten Falls. Liegt ein schwerer Körper auf einer (undurchdringlichen) horizontalen Ebene, so kann die auf ihn wirkende Schwere keine Bewegung hervorbringen, weil alle auf der Ebene denkbaren Bewegungsrichtungen genau dieselbe Beziehung zur bewegenden Kraft haben, und wenn nun der Körper nicht allen diesen Richtungen zugleich folgen kann, so kann er keiner folgen, er muß in Ruhe bleiben. Diese Ruhe ist nun als das Gleichgewicht der bewegenden Schwerkraft und der Widerstandskraft der ebenen Unterlage zu denken; dieser Widerstand muß deshalb eben so groß sein, als jener Druck, und ihre Richtung muß genau der Schwerrichtung entgegengesetzt sein, also ebenfalls auf der Ebene senkrecht stehen. Drückte daher der Körper in Folge der verhinderten Bewegung auf die Ebene, so drückt die Ebene wieder zurück auf den Körper, beide Kräfte, Druck und Gegendruck, sind gleich groß und ihre Richtungen fallen in eine Linie, welche zur Ebene senkrecht steht. Dieses Verhältniß wiederholt sich nun in allen den Erscheinungen, in denen Körper während der Bewegung auf einander wirken; in dem Berührungspunkte der beiden auf einander wirkenden Körper ist eine Doppelkraft zu denken, welche mit gleicher Stärke auf den einen und den anderen Körper wirkt und zwar in einer Richtung, die auf der Berührungsebene beider Körper senkrecht steht.

Ueberblicken wir noch einmal diese gedrängte Darstellung der Grundverhältnisse der Mechanik, so haben sich uns drei einfache Grundgedanken ergeben, welche die Grundlage der wissenschaftlichen Mechanik materieller Körper bilden.

Nämlich:

1) Die bewegenden Kräfte wirken in der Zeit und verhalten sich wie die Massen der bewegten Körper und wie die in gleichen Zeiten hervorgebrachten Geschwindigkeiten.
2) Zwei Bewegungen werden in einem Körper so vereinigt, daß die in gewisser Zeit hervorgebrachte Ortsveränderung gleich der Ortsveränderung ist, welche eintreten würde, wenn die einzelnen Bewegungen hinter einander stattfänden.
3) Wirken Körper in Bewegung auf einander, so sind Druck und Gegendruck gleich und die in eine gerade Linie fallende Richtung beider steht senkrecht auf der gemeinschaftlichen Berührungsebene.

Aus dem zweiten Axiome leitet sich der Begriff des Gleichgewichts ab und auf diesen stützt sich die Eintheilung der Mechanik in Statik und Dynamik. Statik ist die Wissenschaft vom Gleichgewicht der Kräfte, also von dem Verhältniß der Kräfte zu einander, in welchem sie keine Bewegung hervorbringen, und Dynamik

ist die Wissenschaft von der Bewegung. Für die weitere Eintheilung dieser beiden Wissenschaften bietet die Aggregationsform der von den Kräften angegriffenen Körper den Eintheilungsgrund dar. Je nachdem diese Körper starr, tropfbar oder luftförmig sind, theilt sich die Statik ein in: 1) Geostatik oder Lehre vom Gleichgewicht starrer Körper, 2) Hydrostatik oder Lehre vom Gleichgewichte tropfbarer Körper und 3) Aerostatik oder Lehre vom Gleichgewichte luftförmiger Körper; und nach derselben Rücksicht theilt sich die Dynamik ein in 1) Geodynamik oder Lehre von der Bewegung starrer Körper, 2) Hydrodynamik oder Lehre von der Bewegung tropfbarer Körper, und 3) Aerodynamik oder Pneumatik, d. i. Lehre von der Bewegung luftförmiger Körper. — Erwähnt werde hier nur noch, daß man für Dynamik auch zuweilen die Bezeichnung „Mechanik im engeren Sinne" gebraucht und daß man, so wie man die tropfbaren und luftförmigen Körper auch unter der Bezeichnung der flüssigen zusammenfassen kann, die Ausdrücke Hydrostatik und Hydrodynamik zuweilen in einem so erweiterten Sinne gebraucht findet, daß jener die Aerostatik, dieser die Aerodynamik mit in sich begreift. Selbstverständlich ist auch, daß unter Geomechanik die Geostatik und die Geodynamik zusammen verstanden wird, und daß die Ausdrücke Hydromechanik und Aeromechanik beziehungsweise ähnliche Bedeutungen haben.

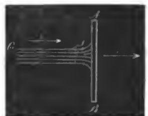
Die Geomechanik geht von der Voraussetzung aus, daß die starren Körper einen aufgenommenen Druck vorzugsweise nach der Richtung desselben fortpflanzen, und daß ihre Theile einen bestimmten Widerstand ihrer Trennung entgegensetzen. Die Hydromechanik macht dagegen die Voraussetzung, daß die tropfbaren Körper einen aufgenommenen Druck nach allen Seiten gleichmäßig fortpflanzen und daß ihre Theile keinen sehr merklichen Widerstand ihrer Trennung entgegensetzen. Die Aeromechanik setzt gleichfalls die allseitige gleichmäßige Fortpflanzung eines aufgenommenen Drucks bei den luftförmigen Körpern voraus, so wie daß die letzteren ein ihrer Dichte proportionales Bestreben nach Ausdehnung besitzen. Nach diesen einzelnen Voraussetzungen gestalten sich nun die besonderen Lehren dieser einzelnen Zweigwissenschaften. W. S.

Mechanik der Flüssigkeiten. Die Mechanik der Flüssigkeiten im engeren Sinne oder die Hydrodynamik und Aerodynamik zerfällt 1) in die Lehre von Ausfluß der Flüssigkeiten aus Wandöffnungen in Gefäßen, 2) in die Lehre von der Bewegung der Flüssigkeiten in Röhren und Canälen und 3) in die Lehre vom Stoß und vom Widerstande der Flüssigkeiten.

Ueber den Ausfluß der Flüssigkeiten sehe man den Artikel „Ausfluß" nach; die Bewegung der Flüssigkeiten in Röhren wird im Artikel „Röhrenleitungen" behandelt werden, obgleich hierhergehörende Resultate schon im angeführten Artikel „Ausfluß" angegeben sind, und über die Bewegung des Wassers in Canälen und Strömen siehe den Artikel „Bewegung des Wassers" Bd. I. S. 847. An dieser Stelle soll nur abgehandelt werden die Lehre vom Stoß und vom Widerstande der Flüssigkeiten, und wir wollen unterscheiden A. den Stoß der Flüssigkeiten, B. den Widerstand der Flüssigkeiten und C. den Rückstoß oder die Reaction der Flüssigkeiten. Die Betrachtung wird sowohl die tropfbaren Flüssigkeiten als auch die luftförmigen umfassen.

A. Stoß der Flüssigkeiten. Hier ist zu unterscheiden: 1) Stoß eines isolirten Wasserstrahls gegen eine gegebene Fläche, 2) Stoß des Wassers im Gerinne, 3) Stoß im unbegrenzten Wasser und 4) Stoß der bewegten Luft.

1) **Stoß eines isolirten Wasserstrahls.** Je nachdem die getroffene Fläche eben oder gekrümmt, ruhig oder bewegt ist, je nachdem die Richtung des Stoßes senkrecht oder geneigt gegen die getroffene Fläche ist, wird der Stoß verschieden ausfallen. Der einfachste, aber auch wichtigste Fall ist, wenn eine ebene Fläche senkrecht von einem Wasserstrahl getroffen wird.



Der Wasserstrahl CD treffe die ebene Tafel AB senkrecht (s. nebenstehende Figur), der Querschnitt von CD sei F, die Geschwindigkeit des Wassers sei v, die Tafel bewege sich in gleicher Richtung mit der Geschwindigkeit c. Die Wirkung des Stoßes gegen die Tafel ist ein Druck P, der zu bestimmen ist. Das Gewicht der Volumeneinheit Wasser sei mit γ bezeichnet.

In der Zeiteinheit kommt ein Wassercylinder von der Länge $v - c$ zum Stoß, das Gewicht desselben ist $F\gamma(v-c)$, das in ihm vorhandene Arbeitsquantum (lebendige Kraft) ist $F\gamma(v-c)\frac{v^2}{2g}$. Da das Wasser, so wie es zum Stoß gelangt, seine Geschwindigkeit von v auf c herabsetzen muß, also einen Geschwindigkeitsverlust von $v - c$ erleidet, so geht gleichzeitig ein Arbeitsquantum von $F\gamma(v-c)\cdot\frac{(v-c)^2}{2g}$ verloren.

Da ferner das Wasser noch eine Geschwindigkeit c behält, so bleibt ihm noch am Arbeitsvermögen $F\gamma(v-c)\cdot\frac{c^2}{2g}$, der Rest, nämlich

$$F\gamma(v-c)\cdot\frac{v^2}{2g} - F\gamma(v-c)\frac{(v-c)^2}{2g} - F\gamma(v-c)\frac{c^2}{2g} = \frac{2F\gamma(v-c)^2c}{2g}$$

ist an die gestoßene Tafel übergegangen. Da die Tafel einen Druck P erleidet, dabei aber eine Geschwindigkeit c besitzt, so ist die von ihr aufgenommene Arbeit auch durch Pc zu bezeichnen; es ist also:

$$Pc = \frac{F\gamma(v-c)^2c}{g}, \text{ und } P = \frac{F\gamma(v-c)^2}{g}.$$

Setzt man die in der Zeiteinheit zum Stoß gekommene Wassermasse $F\gamma(v-c)$ gleich Q, so hat man:

$$Pc = \frac{Q(v-c)c}{g}, \text{ und } P = \frac{Q(v-c)}{g}.$$

Ruht die Tafel, so ist $c = o$, dann ist zwar die von der Tafel aufgenommene Arbeit Pc auch gleich null, aber für den Druck gegen die Tafel erhalten wir:

$$P = \frac{F\gamma v^2}{g} = \frac{Qv}{g}.$$

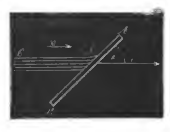
Die zur Geschwindigkeit v gehörige Geschwindigkeitshöhe h ist bekanntlich $\frac{v^2}{2g}$, demnach ist $P = 2Fh\gamma$.

Der durch den senkrechten Stoß eines Wasserstrahls gegen eine ruhende Ebene hervorgebrachte Druck ist also gleich dem Gewicht einer Wassersäule, die den Querschnitt des Wasserstrahls zur Grundfläche und die **doppelte** Geschwindigkeitshöhe zur Höhe hat.

Bewegt sich die Tafel dem Wasserstrahl mit der Geschwindigkeit c entgegen, so ist der aufgenommene Druck $P = \frac{F\gamma\,(v+c)^2}{g} = \frac{Q\,(v+c)}{g}$. Eine Arbeit kann in diesem Falle von der Tafel nicht aufgenommen werden, vielmehr muß noch eine andere Arbeit $\frac{Q\,(v+c)\,c}{g}$ verwendet werden, um die Tafel dem Strahl entgegen führen zu können.

Es lassen sich die obigen wichtigen Formeln auch ableiten, ohne den Begriff der Arbeit zu Hülfe zu nehmen. Man erinnere sich an den wichtigen Satz, daß wenn eine Kraft P auf eine Gewichtsmenge G wirkt, eine Beschleunigung oder Verzögerung $g' = \frac{P}{G}\,g$ erreicht wird, wo unter g die allgemeine Beschleunigung der Schwere zu verstehen ist. Denken wir uns nun von dem Wasserstrahl ein sehr kleines Stück von der Länge dx, so ist sein Gewicht $F\gamma\,dx$; da es die relative Geschwindigkeit $v-c$ hat, so kommt es während der sehr kleinen Zeit $\frac{dx}{v-c}$ vollständig zum Stoß, in dieser Zeit soll es aber einen Geschwindigkeitsverlust von $v-c$ erleiden, es muß ihm also eine Verzögerung von $(v-c) : \frac{dx}{v-c}$ oder $\frac{(v-c)^2}{dx}$ ertheilt werden, und diese Verzögerung läßt sich ansehen als die Wirkung des von der Tafel ausgeübten Gegendrucks P. Setzen wir nun in obige Formel $g' = \frac{P}{G}\,g$ für g' die Verzögerung $\frac{(v-c)^2}{dx}$, für G das Gewicht unseres kleinen Wassercylinders, nämlich $F\gamma\,dx$, so folgt $P = \frac{F\gamma\,(v-c)^2}{g}$, genau so wie es oben gefunden worden ist.

Bildet die in der Richtung des Wasserstrahls mit der Geschwindigkeit c ausweichende Tafel AB (s. beistehende Figur) mit der Richtung ihrer Bewegung einen Winkel α, so läßt sich der auf ihr hervorgebrachte Normaldruck P durch die letzte Betrachtung leicht finden. Die relative Geschwindigkeit des Wassers ist $v-c$, die normal gegen die Tafel gerichtete Componente dieser Geschwindigkeit ist $(v-c)\sin\alpha$; und diese relative Geschwindigkeit soll durch den Einfluß des Gegendrucks P in dem kleinen Wassercylinder $F\gamma\,dx$ vernichtet werden. Die dazu nöthige Zeit ist wieder $\frac{dx}{v-c}$,



also die Verzögerung ebenfalls $\frac{(v-c)^2}{dx}$, woraus dann folgt $P = \frac{F\gamma(v-c)^2 \sin\alpha}{g}$. Dieser Normaldruck läßt sich nun zerlegen in einen Druck P_1 nach der Richtung der Bewegung und in einen dazu senkrechten Seitendruck P_2, mit welchem der Wasserstoß die Tafel aus der Richtung ihrer Bewegung herausdrängen möchte; die sehr einfache Zerlegung liefert: $P_1 = P\sin\alpha = \frac{F\gamma(v-c)^2}{g}\sin\alpha^2$ und $P_2 = P\cos\alpha = \frac{F\gamma(v-c)^2}{g}\sin\alpha\cos\alpha$; die von der Tafel aufgenommene Arbeit ist $P_1 c = \frac{F\gamma(v-c)^2 c}{g}\sin\alpha^2$.

Denken wir uns einen Kegel ABA' (s. Fig. I.), dessen Axe mit der Seite den Winkel α bildet; richtet sich nun gegen den Kegel ein Wasserstrahl in der Richtung der Kegelaxe, und weicht der Kegel mit einer Geschwindigkeit c aus, so erhält er in der Axenrichtung einen Druck $P_1 = \frac{F\gamma(v-c)^2 \sin\alpha^2}{g}$, und die aufgenommene Arbeit beträgt $P_1 c = \frac{F\gamma(v-c)^2 c \,.\, \sin\alpha^2}{g}$.

I.

Richtet sich ein Wasserstrahl so gegen eine concave Fläche, daß er sie in der Richtung einer Tangente trifft, so findet kein eigentlicher Stoß statt, wohl aber eine Ablenkung des Wasserstrahls; aber bei dieser Ablenkung wird ebenfalls ein Druck auf die Fläche ausgeübt, und es kann eine gewisse Arbeitsmenge aufgenommen werden.

Die gekrümmte Tafel AB (s. Fig. II.) empfange bei B in der Tangentenrichtung den Wasserstrahl CD, dessen Querschnitt wieder F, und dessen Geschwindigkeit wieder v sei, die Fläche AB weiche mit der Geschwindigkeit c aus. In der Zeiteinheit trifft die Wassermenge $Q = F\gamma(v-c)$ die Tafel mit der relativen Geschwindigkeit $v-c$. Sehen wir von dem geringen Einfluß ab, den die Adhäsion des Wassers gegen die Tafelfläche auf die Bewegung des Wassers ausüben wird, so bleibt die relative Geschwindigkeit des Wassers dieselbe, nämlich $v-c$; das Wasser verläßt daher die Tafel bei A auch mit dieser relativen Geschwindigkeit $AE = (v-c)$ in der Tangentenrichtung, seine absolute Geschwindigkeit $AG = v_1$ setzt sich aber zusammen aus der Tangentialgeschwindigkeit AE und aus

II.

der Geschwindigkeit $AF = c$, welche die Tafel besitzt. Bezeichnen wir den Winkel EAF, um welchen der Wasserstrahl abgelenkt ist, mit α, so ist

$$v_1 = AG = \sqrt{(v-c)^2 + c^2 + 2\,(v-c)\,c\cos\alpha}.$$

Das Wasserquantum Q hatte bei B das Arbeitsvermögen $\frac{Q v^2}{2g}$, bei A hat es davon noch $\frac{Q v_1^2}{2g}$; das Fehlende hat es an die Tafel abgegeben. Setzen wir den Druck, den die Fläche AB in der Richtung ihrer Bewegung erleidet, gleich P, so ist das von ihr aufgenommene Arbeitsquantum Pc, demnach ist nun:

$$Pc = \frac{Qv^2}{2g} - \frac{Qv_1^2}{2g} = \frac{Q}{2g}\left[v^2 - (v-c)^2 - c^2 - 2\,(v-c)\,c\cos\alpha\right] = \frac{Q\,(v-c)\,c\,(1-\cos\alpha)}{g},$$

und folglich $P = \frac{Q\,(v-c)\,(1-\cos\alpha)}{g} = \frac{F\gamma\,(v-c)^2\,(1-\cos\alpha)}{g}$.

Setzt man $\alpha = 90^0$, so ist $Pc = \frac{Q\,(v-c)\,c}{g} = \frac{F\gamma\,(v-c)^2\,c}{g}$ und $P = \frac{Q\,(v-c)}{g} = \frac{F\gamma\,(v-c)^2}{g}$ und für $c = o$, folgt wie oben $P = \frac{F\gamma v^2}{g} = 2\,Fh\gamma$, wenn h die zu v gehörende Geschwindigkeitshöhe ist. Die Vergleichung der hier gefundenen Resultate mit den anfänglichen läßt nun folgenden interessanten Satz erkennen:

Der Druck, der durch Ablenkung eines Wasserstrahls um 90^0 erzeugt wird, ist gleich dem Druck, den ein senkrechter Stoß desselben Strahls gegen eine ebene Fläche hervorbringt, nämlich gleich dem Gewichte einer Wassersäule, die den Querschnitt des Strahls zur Grundfläche und die doppelte Geschwindigkeitshöhe zur Höhe hat, oder mit anderen Worten: jeder dieser beiden Drucke ist doppelt so groß als der entsprechende hydrostatische Druck.

Geben wir dem Ablenkungswinkel α den Werth 180^0, so erhalten wir aus obigen Formeln folgende Resultate:

$$Pc = \frac{2\,Q\,(v-c)\,c}{g} = \frac{2\,F\gamma\,(v-c)^2\,c}{g}, \text{ und } P = \frac{2\,Q\,(v-c)}{g} = \frac{2\,F\gamma\,(v-c)^2}{g},$$

d. h. die Wirkungen einer Ablenkung eines Wasserstrahls um 180^0 (s. beistehende Figur) sind überall doppelt so groß, als bei der Ablenkung um 90^0, und bei einer ruhenden Fläche AB, also für $c = o$, erhält man $P = \frac{2\,F\gamma v^2}{g} = 4\,Fh\gamma$, also einen Druck, der 4 Mal so groß ist als der entsprechende hydrostatische.

Denken wir uns in Fig. II. S. 958 den Wasserstrahl CD horizontal, die hohle Fläche AB aber so gelegt, daß das Wasser in ihr aufwärts fließen muß, so daß es endlich einen höchsten Punkt auf dieser Fläche erlangt und dann in Folge seiner Schwere wieder zurückfließt, so läßt sich fragen, welche Wirkung eine gewisse Wassermenge Q auf AB ausübt. Denken wir uns wieder, die Fläche AB bewege sich in der Richtung des ankommenden Wassers mit der Geschwindigkeit c, so hat das Wasser für seine Bewegung auf der Fläche die relative Anfangsgeschwindigkeit $v - c$ erlangt, aufsteigend eine Höhe von $\frac{(v-c)^2}{2g}$, und herabsinkend abermals eine Geschwindigkeit von $v - c$, mit welcher es die krumme Fläche wieder verläßt, allerdings in einer Richtung, die der ursprünglichen Bewegung entgegengesetzt ist. Da aber die krumme Fläche mit der Geschwindigkeit c zurückweicht, so ist die absolute Geschwindigkeit des die Fläche verlassenden Wassers $c - (v - c) = 2c - v$. Vergleichen wir nun wie bisher das ursprüngliche Arbeitsquantum der Wassermenge mit dem übrigbleibenden, so ergiebt sich

$$Pc = \frac{Qv^2}{2g} - \frac{Q(2c - v)^2}{2g} = \frac{2Q(v-c)c}{g}, \text{ und } P = \frac{2Q(v-c)}{g}.$$

Diese Werthe stimmen mit den Resultaten überein, die bei der Betrachtung der Ablenkung eines Wasserstrahls um 180° gefunden wurden; ihre Anwendung finden sie bei der Theorie der Poncelet-Räder.

2) Stoß des Wassers im Gerinne. Bei den vorstehenden Betrachtungen wurde die Voraussetzung gemacht, daß die Fläche, gegen welche der Wasserstrahl ausströmt, breiter sei als der Strahl selbst, damit alles Wasser zum Stoß gelangen könne. Stößt aber Wasser, welches in einem Gerinne fließt, gegen eine Fläche, so ist das stoßende Wasserprisma breiter als die gestoßene Fäche, es wird nicht alles Wasser zum Stoß gelangen, sondern unterhalb und seitwärts der gestoßenen Fläche einiges Wasser vorbeifließen. Allein die sich bewegende Wassermenge wird dennoch durch die Gerinnswandungen zusammengehalten, und bei allen in der Technik vorkommenden Fällen läßt man die gestoßene Fläche so viel als möglich den Querschnitt des Gerinns ausfüllen, so daß im Allgemeinen die Betrachtungen und Resultate des vorigen Abschnitts auch hier zur Anwendung kommen, wobei nur zu merken ist, daß man beim Stoß im Gerinne nie jene Werthe vollständig erreichen kann, sondern daß dieselben hier nur als Grenzwerthe zu betrachten sind. Die gestoßenen Flächen sind beim Stoß im Gerinne in der Regel Wasserradschaufeln; die von ihnen aufgenommene mechanische Arbeit wird auf das Wasserrad übertragen und von diesem der übrigen Maschine mitgetheilt. Die hierher gehörenden Räder sind die sogenannten unterschlächtigen Wasserräder, das gewöhnliche und das Poncelet-Rad; bei ihnen wirkt das Wasser nicht durch sein Gewicht sondern durch Stoß oder durch Druck in Folge von Ablenkung. Hier kommt es nun darauf an, so viel Arbeitsübertragung für das Rad zu gewinnen als möglich, was im Allgemeinen von der Geschwindigkeit c abhängig ist, mit der die Schaufeln dem Wasserstoß ausweichen.

Für eine ebene Fläche, gegen welche das Wasser senkrecht anstößt, hatten wir oben gefunden:

$$\text{aufgenommene Arbeit } Pc = \frac{Q(v-c)c}{g} = \frac{F\gamma(v-c)^2 c}{g};$$

$$\text{Druck gegen die Fläche } P = \frac{Q(v-c)}{g} = \frac{F\gamma(v-c)^2}{g}.$$

Diese Werthe gelten auch für ebene radial gestellte Schaufeln. Ist $c = o$, so steht das Rad still, der Druck gegen die Schaufeln ist zwar am größten, nämlich $\frac{Qv}{g} = \frac{F\gamma v^2}{g}$, aber es ist $Pc = o$, das Rad nimmt keine Arbeit auf. Ist $c = v$, so bewegt sich zwar das Rad so schnell als möglich, aber es ist abermals $Pc = o$, das Rad nimmt keine Arbeit auf. Legt man c nach einander alle Werthe bei von o bis v, so wird P von $\frac{Qv}{g}$ abnehmen bis o, aber Pc wird anfangs zunehmen bis zu einem Maximum, dann aber wieder abnehmen und verschwinden. Wie groß muß nun c sein, damit Pc ein Maximum werde? Die in der Secunde zum Stoß gelangende Wassermasse ist $Q = F\gamma(v-c)$; der zweite Werth dieser Gleichung setzt aber voraus, daß nur ein und dieselbe Fläche vom Wasser gestoßen wird; in diesem Falle ist Q veränderlich und von c abhängig, so daß bei einer langsamen Bewegung der gestoßenen Fläche mehr Wasser zum Stoß gelangt als bei einer schnellen. Bei einem Wasserrade kann man aber nicht geradezu $Q = F\gamma(v-c)$ setzen, denn es tauchen immer neue Schaufeln in das Wasser, so daß alles Wasser, welches durch das Schütz fließt, auch in derselben Zeit zum Stoß gelangen kann, deshalb ist Q als unabhängig von c zu setzen. Es wird nun $Pc = \frac{Q(v-c)c}{g}$ dann einen Maximalwerth annehmen, wenn das Product $(v-c)c$ ein Maximum ist. Ist nun der dem Maximum von $(v-c)c$ entsprechende Werth von c gleich c_1, so ist $(v-c_1)c_1$ stets größer als $(v-c)c$, die Differenz beider nämlich $(v-c_1)c_1 - (v-c)c = (c_1-c)(v-c-c_1)$ stets positiv; dann müssen die beiden Factoren des letzten Products stets zugleich positiv oder zugleich negativ sein, müssen also auch zugleich verschwinden. Also muß, wenn $c_1 - c = o$ ist, auch $v - c - c_1 = o$ sein. Hieraus ergiebt sich, wenn wir c aus diesen Gleichungen eliminiren, $c_1 = {}^1/_2 v$. Für diesen Werth ist die von der Schaufel aufgenommene Arbeit $Pc_1 = \frac{Qv^2}{4g}$, d. i. die Hälfte von dem in der Wassermenge Q vor dem Stoß enthaltenen Arbeitsvermögen.

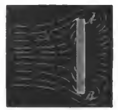
Wasserräder mit geraden, radialen Schaufeln können also von der im Wasser vorhandenen lebendigen Kraft theoretisch nur die Hälfte aufnehmen; in der Wirklichkeit ist die aufgenommene Arbeit noch geringer.

Denkt man sich gekrümmte Schaufeln, auf welche das Wasser im untersten Punkte in der Richtung der Tangente trifft, so daß das Wasser an diesen Schaufeln erst aufwärts läuft, dann wieder zurückfließt (Poncelet-Räder), so ist nach Obigem die aufgenommene Arbeit

$$Pc = \frac{2Q(v-c)c}{g}.$$

Hieraus ergiebt sich nun unmittelbar in Vergleich mit der eben aufgestellten Entwickelung, daß die beste Geschwindigkeit dieser Schaufeln ebenfalls gleich der halben Geschwindigkeit des Wassers ist, daß dann aber (theoretisch) das ganze Arbeitsvermögen des Wassers übertragen werden kann. Erfahrungsmäßig geben gute Ponceiet-Räder einen Nutzeffect von 70 — 75 Proc., gute unterschlächtige Räder mit ebenen Schaufeln aber nur bis 33 Proc.

3) Stoß im unbegrenzten Wasser. Im unbegrenzten Wasser muß der Stoß geringer ausfallen als im begrenzten Wasser, denn jetzt kann das Wasser zur Seite des gestoßenen Körpers ausweichen. Wird die ebene Tafel A B (s. beistehende Figur) im unbegrenzten Wasser von dem sich schneller als die Tafel bewegenden Wasser getroffen, so kann das stoßende Wasser sich natürlich vor der Tafel nicht sammeln, es muß an den Seiten abfließen; indem nun das Wasser, welches den mittleren Theil der Tafel traf, nach den Seiten hin abfließt, verhindert es, daß die Seitentheile der Tafel von dem Wasser senkrecht getroffen werden können, und je mehr sich nach den Seitenrändern der Tafel hin die Masse des abfließenden Wassers mehrt, desto schwächer wird hier auch der Stoß der Wasserfäden gegen die Tafel ausfallen. Haben die abgelenkten Wasserfäden die Ränder der Tafel passirt, so werden sie durch den Einfluß des nicht zum Stoß gekommenen Seitenwassers in den Raum hinter der Tafel gedrängt, werden hier eine wirbelnde Bewegung annehmen und dabei einen Druck gegen die Hinterfläche ausüben, welcher dem gegen die Vorderfläche entgegengesetzt ist und die Wirkung des Wasserstoßes noch mehr mindert. Auf die Stärke dieser Wirbel und die Größe des durch sie hervorgerufenen Hinterstoßes hat besonders die Länge des Körpers Einfluß. Ein plattenartiger Körper wird gegen die Hinterseite weniger getroffen werden, weil das an seinen Rändern vorbeifließende Wasser divergirende Richtungen hat; durch den Einfluß der Langseiten eines prismatischen Körpers werden aber die anfangs divergirenden Wasserfäden zur wieder parallelen Richtung gelenkt und können dann mit größerer Kraft in den Raum hinter dem Körper einströmen. Es lassen sich sämmtliche hierher gehörende Erscheinungen schwerlich mit hinreichender Genauigkeit durch Rechnung verfolgen, doch geht zunächst aus dem eben Aufgestellten Folgendes hervor:



1) Außer von der Größe der Vorderfläche des gestoßenen Körpers wird der Stoß abhängig sein von der Gestalt derselben. Je mehr die Gestalt der Vorderfläche die Vorbeileitung der Wasserfäden begünstigt, desto geringer wird der Stoß ausfallen. Daß der Stoß gegen eine convexe Fläche geringer sein wird als gegen eine Ebene von gleichen Dimensionen, und gegen diese wieder geringer als gegen eine concave Fläche, ist einleuchtend, er wird aber bei ebenen Vorderflächen auch nicht mit der Größe des Flächenraumes proportional sein. Er wird gegen große Flächen auch relativ größer als gegen kleine sein, er wird größer sein, wenn verhältnißmäßig die Umrandung klein ist; also wird der Stoß gegen kreisförmige Flächen größer als gegen quadratische sein, gegen diese wieder größer als gegen rectanguläre, gegen durchbrochene Platten wird er geringer sein als gegen undurchbrochene von gleicher Vorderfläche.

2) Von besonderem Einfluß auf die Größe des Wasserstoßes wird es sein,

ob die gestoßene Vorderfläche des Körpers ganz untergetaucht ist oder nicht. Bei gleicher Stoßfläche ist der Stoß gegen eine nicht gänzlich untergetauchte Fläche der größere, denn der aus dem Wasser hervorragende Theil dient als Hinderniß für die Vorbeileitung der Wasserfäden, es wird ein theilweises Aufstauen des Wassers an dieser Stelle eintreten, wodurch auch der Druck vermehrt wird.

3) Der Druck gegen plattenförmige Körper ist größer als gegen prismatische von merklicher Länge aus dem oben angeführten Grunde; hat aber der prismatische Körper eine noch größere Länge, als nöthig ist, um die Wasserfäden aus der divergirenden Richtung in die parallele zurückzuführen, so wird der Einfluß der Adhäsion des Wassers an den Langseiten des Körpers den Druck des Stoßes wieder vermehren.

4) Abgesehen von diesen Einflüssen kann man den Druck des Wasserstoßes im begrenzten Wasser als proportional mit dem im Gerinne annehmen, so daß den dort angenommenen Werthen nur ein Coefficient beizufügen wäre, der für jeden besonderen Fall empirisch bestimmt werden müßte. Bezeichnen wir diesen Erfahrungscoefficienten mit k, so bleibt unter Beibehaltung der oben angenommenen Bezeichnung:

$$\text{aufgenommene Arbeitsmenge } Pc = \frac{k . F\gamma (v - c)^2 c}{2g},$$

$$\text{ausgeübter Druck} \qquad P = \frac{k F\gamma (v - c)^2}{2g}.$$

Für den Stoß im Gerinne wäre $k = 2$, hier also wird $k < 2$ sein.

Gehen wir nun auf die vielen von Newton, Desaguilliers, Vinee, Hutton, Borde, Duchemin über den Stoß im unbegrenzten Wasser angestellten Versuche ein, so hat sich trotzdem noch kein allgemeines und sicheres Gesetz daraus erkennen lassen. Läßt man den Einfluß, den die Gestalt der ebenen Vorderfläche auf den Wasserstoß ausübt, fort, so daß der Wasserstoß P proportional mit F angenommen wird, so folgt aus Duchemin's Versuchen für plattenförmige Körper $k = 1,864$. Dieser Werth wird kleiner, wenn die Länge des Körpers in der Stromrichtung zunimmt, bezeichnet l diese Länge, d den Durchmesser der Vorderfläche, so haben jene Versuche folgende Werthe ergeben:

$\frac{l}{d}$	k
0	1,864
0,5	1,848
1	1,479
1,5	1,389
2	1,342
3	1,330
4	1,335
6	1,367
8	1,388

Für den schiefen Stoß setzt Hutton nicht $P = \frac{k F\gamma (v - c)^2}{2g} \sin \alpha^2$, sondern

$\frac{k F \gamma (v - c)^2}{2 g} \sin \alpha^{1.842 \cos \alpha}$ und Duchemin setzt $\frac{k F \gamma (v - c)^2}{2 g} \cdot \frac{2 \sin \alpha^2}{1 + \sin \alpha^2}$.
Ist die Vorderfläche nicht eben, sondern halbkugelförmig gewölbt, so sollte nach theoretischen Betrachtungen der Stoß nur $^2/_3$ Mal so groß sein, als eine ebene Vorderfläche von gleichen Dimensionen, Duchemin findet aber als Verkleinerungscoefficient $^2/_5$. Der Stoß gegen einen Cylinder senkrecht gegen seine Axe wird halb so groß gesetzt, als der gegen ein Parallelepipedum von gleichen Dimensionen.

Der Stoß im unbegrenzten Wasser kommt zur technischen Anwendung bei den sogenannten Schiffmühlenrädern. Diese hängen zwischen zwei Pontons und reichen mit ihren Schaufeln bis ins freie Wasser, das weder durch ein Wehr gespannt, noch durch ein Gerinne eingeschlossen werden kann. Es fragt sich auch hier, welche Geschwindigkeit den Schaufeln zu geben sei, damit die aufgenommene Arbeit ein Maximum werde. Konnten wir oben bei den unterschlächtigen Wasserrädern annehmen, daß alles durch das Schütz gehende Wasser zum Stoß komme, so ist hier die Annahme nicht zulässig, daß alles in der Richtung auf die Schaufel zu fließende Wasser zum Stoß gelange, denn theils kann das Wasser hier der Schaufel leicht ausweichen, theils ist auch die Zahl der Schaufeln bei den Rädern im freien Wasser viel geringer als bei den Rädern im Gerinne; deshalb ist die Menge des zum Stoß gelangenden Wassers auch von der Geschwindigkeit der Schaufeln abhängig, sie ist geringer bei schneller, größer bei langsamer Bewegung. Bei Berechnung der angemessensten Geschwindigkeit ist daher die Formel $P c = \frac{k F \gamma (v - c)^2 c}{2 g}$ zu Grunde zu legen. Die von der Schaufel F aufgenommene mechanische Arbeit wird ein Maximum sein, wenn $(v - c)^2 c$ ein Maximum ist. Tritt dieses Maximum ein, wenn c den Werth c_1 annimmt, so muß also $(v - c_1)^2 c_1 > (v - c)^2 c$ sein, sobald nur c einen anderen Werth als c_1 hat, es ist daher $(v - c_1)^2 c_1 - (v - c)^2 c = (c_1 - c)\,[v^2 - v(c + c_1) + (c_1^2 + c c_1 + c^2)]$ stets positiv; es müssen also die beiden Factoren des letzten Products stets zugleich positiv oder zugleich negativ sein, sie müssen also auch zugleich verschwinden können. Es sind also die beiden Gleichungen $c_1 - c = o$ und $v^2 \quad v(c_1 + c) + c_1^2 + c_1 c + c^2 = o$ denkbar, die Elimination von c liefert die Gleichung $v^2 - 2 v c_1 + 3 c_1^2 = o$, und die Auflösung dieser Gleichung giebt $c_1 = {}^1/_3\, v$. Ein Schiffmühlenrad liefert also dann den größten Nutzeffeet, wenn seine Schaufeln sich mit einer Geschwindigkeit bewegen, die dreimal kleiner ist als die des bewegenden Wassers.

4) Stoß der bewegten Luft. Die im vorigen Abschnitt für den Stoß im unbegrenzten Wasser aufgestellten Formeln gelten zugleich auch für den Luftstoß, wenn man dort unter γ das Gewicht der Volumeneinheit Luft versteht. Wegen der Eigenthümlichkeit der Luft ist aber zu beachten, daß jener Factor γ nicht wie beim Wasser constant ist, sondern einerseits abhängig ist von der Temperatur und dem Barometerstande, andererseits auch von der Geschwindigkeit der Windbewegung. Denn wenn die Luft auf einen Körper stößt, so entsteht in Folge der Elasticität der Luft vor dem Körper eine Verdichtung und hinter demselben eine Verdünnung, die beide um so größer ausfallen, je schneller die Luft sich bewegt. Lassen wir den Buchstaben γ in der oben gebrauchten Bedeutung als Bezeichnung für das Gewicht der Volumeneinheit Wasser, und bezeichnen mit γ_1' das Gewicht

der Volumeneinheit Luft bei dem Barometerstand b und der Temperatur t^0 (Celsius), so giebt das Gay-Lussac'sche Gesetz:

$$\frac{\gamma'}{\gamma} = \frac{b}{850 \cdot 0,76}\left(\frac{1 + 18 \times 0,004}{1 + 0,004\,t}\right) = \frac{0,001659\,b}{1 + 0,004\,t}.$$ Hierbei ist das Gewichtsverhältniß von Luft zu Wasser bei 18° C. und $0,76^m$ Barometerstand zu $\frac{1}{850}$ und die Ausdehnung für jeden Temperaturgrad zu 0,04 angenommen, da die gewöhnliche atmosphärische Luft wegen ihres Wassergehaltes sich etwas anders verhält als wasserfreie Luft. Bezeichnen wir nun weiter mit γ'' das Gewicht der Volumeneinheit Luft in dem verdichteten Zustande, der durch den Luftstoß an der Vorderfläche des gestoßenen Körpers entsteht, und bezeichnet v die Geschwindigkeit der Luft, v' aber die Geschwindigkeit, mit der die Luft in den luftleeren Raum einströmen würde, so ist nach Duchemin zu setzen:

$$\gamma'' = \left(1 + \frac{v}{v'}\right)\gamma', \text{ wenn } v < v' \text{ ist und } \gamma'' = 2\gamma', \text{ wenn } v > v' \text{ ist.}$$ Nun ist aber $v' = 416,34^m$, man kann also setzen $\gamma'' = \left(1 + \frac{v}{416,34}\right)\gamma' = \left(1 + \frac{v}{416,34}\right)\frac{0,001659\,b}{1 + 0,004\,t}$, da $v > v'$ nicht leicht vorkommen wird. Setzen wir nun diesen Werth anstatt γ in die früheren Formeln, so erhalten wir:

die durch den Luftstoß übertragene Arbeit $Pc = \frac{kF(v-c)^2 c}{2g}\left(1 + \frac{v}{416,34}\right)\frac{0,001659\,b}{1 + 0,004\,t}$,

den durch den Luftstoß ausgeübten Druck $P = \frac{kF(v-c)^2}{2g}\cdot\left(1 + \frac{v}{416,34}\right)\frac{0,001659\,b}{1 + 0,004\,t}$.

In diesen Formeln sind alle Längen im Metermaße zu nehmen. Für Körper von besonderer Länge, so wie für den schiefen Stoß gelten die beim Wasserstoß angeführten Modificationen.

B. Widerstand der Flüssigkeiten.

1) Widerstand des Wassers gegen bewegte Körper. Hier könnte man erwarten, daß es unter sonst gleichen Umständen von gleicher Wirkung sein müßte, ob das Wasser sich gegen einen ruhenden Körper bewegt und gegen ihn einen Stoß ausübt, oder ob das Wasser ruht und der Körper sich bewegt, so daß er vom Wasser einen Widerstand erfährt. Die Erfahrung aber widerspricht dieser Erwartung, sie zeigt vielmehr, daß im Allgemeinen der Widerstand des Wassers gegen bewegte Körper kleiner ist als der Wasserstoß gegen ruhende, und zwar ist der Unterschied zwischen beiden am merklichsten bei plattenförmigen Körpern, er wird aber geringer, wenn die Längendimension des prismatischen Körpers zunimmt; denn während bei zunehmender Länge des Körpers der Coefficient k beim Wasserstoß abnimmt, so nimmt er beim Wasserwiderstande zu, bis beide Werthe zuletzt übereinstimmen. Duchemin's Versuche haben für k folgende Werthe ergeben:

$\frac{l}{d}$	k
0	1,254
0,5	1,269
1	1,282
1,5	1,295
2	1,306
3	1,325
4	1,342
6	1,368
8	1,388

Wie oben bezeichnet hier l die Länge und d den Querdurchmesser des Körpers.

Das Untersinken eines schweren Körpers im Wasser läßt sich in Folge des Widerstandes, der mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wächst, nicht als eine gleichförmig beschleunigte Bewegung ansehen; anfangs wird diese Bewegung zwar beschleunigt werden, aber der Körper wird bald eine solche Geschwindigkeit annehmen, bei welcher der Wasserwiderstand die bewegende Kraft fast ganz aufhebt, so daß die übrige Bewegung als nahe gleichförmig angesehen werden kann. Gehen wir näher auf das Untersinken einer Kugel im Wasser ein.

Es sei r der Radius der Kugel, γ das Gewicht der Volumeneinheit ihrer Masse, ihr Gewicht ist also $\frac{4}{3} r^3 \pi \gamma$. Ist γ' das Gewicht einer Volumeneinheit Wasser, so ist der hydrostatische Gegendruck des Wassers $\frac{4}{3} r^3 \pi \gamma'$, also behält die Kugel im Wasser noch ein relatives Gewicht von $\frac{4}{3} r^3 \pi (\gamma - \gamma')$. Für den Widerstand des Wassers setzen wir im Allgemeinen $\frac{k F \gamma' v^2}{2g}$, k ist nach obiger Tafel gleich 1,282 und da wir es hier mit einer Kugelfläche zu thun haben, so ist dieser Coefficient nach Duchemin noch mit $\frac{2}{5}$ zu multipliciren, woraus der Werth 0,513 folgt; F ist als Querschnitt der Kugel gleich $r^2 \pi$, demnach folgt für den Wasserwiderstand (0,513 = k) der Werth $\frac{k r^2 \pi \gamma' v^2}{2g}$, folglich ist die bewegende Kraft der Kugel $\frac{4}{3} r^3 \pi (\gamma - \gamma') - \frac{k r^2 \pi \gamma' v^2}{2g}$. Hieraus erkennen wir schon, daß die Geschwindigkeit v nie den Werth übersteigen kann, für welchen die bewegende Kraft verschwindet; bezeichnen wir mit V den Maximalwerth von v, so folgt unmittelbar aus dem letzten Ausdruck: $V^2 = \frac{8 r g (\gamma - \gamma')}{3 k \gamma'}$, also $V = 2 \sqrt{\frac{2 r g (\gamma - \gamma')}{3 k \gamma'}}$. Diese Geschwindigkeit wird der sinkende Körper selbst nicht erreichen, er wird sich ihr nur annähern können. Aus dem angegebenen Werthe für die bewegende Kraft und aus dem Gewichte des Körpers selbst folgt nun die jedesmalige Beschleunigung $G = \left(\frac{4}{3} r^2 \pi (\gamma - \gamma') - \frac{k r^2 \pi \gamma' v^2}{2g}\right)$ $g : \frac{4}{3} r^3 \pi \gamma$, führen wir den constanten Werth V ein, so erhalten wir

$G = \frac{3 k \gamma'}{8 r \gamma} (V^2 - v^2)$. Für die Bewegung selbst erhalten wir die beiden Fundamentalgleichungen:

$dv = G\,dt$ und

$ds = v\,dt$, in denen t die Zeit und s den in der Zeit t zurückgelegten Weg bezeichnet; aus beiden ergiebt sich durch Elimination von dt die dritte Gleichung:

$ds = \frac{v\,dv}{G}$.

Die Integration der ersten Gleichung giebt:

$$t = \int \frac{dv}{G} = \frac{8 r \gamma}{3 k \gamma'} \int \frac{dv}{V^2 - v^2} = \frac{4 r \gamma}{3 k \gamma' V} \log \text{nat} \frac{V + v}{V - v}$$

$$= \frac{\gamma}{\gamma - \gamma'} \cdot \frac{V}{2 g} \log \text{nat} \frac{V + v}{V - v}.$$

Hieraus folgt nun weiter, wenn man der Kürze wegen $\frac{2 g (\gamma - \gamma')}{V \gamma}$ gleich n setzt, $v = V \frac{e^{nt} - 1}{e^{nt} + 1}$, wenn e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen ist.

Die Integration der dritten Gleichung liefert

$$s = \int \frac{v\,dv}{G} = \frac{8 r \gamma}{3 k \gamma'} \int \frac{v\,dv}{V^2 - v^2} = \frac{4 r \gamma}{3 k \gamma'} \log \text{nat} \frac{V^2}{V^2 - v^2}$$

$$= \frac{\gamma}{\gamma - \gamma'} \cdot \frac{V^2}{2 g} \log \text{nat} \frac{V^2}{V^2 - v^2}.$$

Aus diesen Formeln kann man nun, wenn t gegeben ist, zuerst v, dann s bestimmen.

Beispiel. Eine sechszöllige gußeiserne Kugel sinkt im Wasser unter, man soll ihre Bewegung während der ersten 3 Secunden verfolgen.

Es ist $r = 3'' = 1/4'$, $g = 31{,}25'$, $k = 0{,}513$; für γ und γ' kann man, da es nur auf das Verhältniß dieser Werthe ankommt, recht wohl die specifischen Gewichte substituiren, also für γ den Werth 7,2 und für γ' den Werth 1 setzen, dann folgt für die möglichst größte Geschwindigkeit der sinkenden Kugel

$$V = 2 \sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}25 \cdot 31{,}25 \cdot 6{,}2}{3 \cdot 0{,}513}} = 15{,}87'.$$

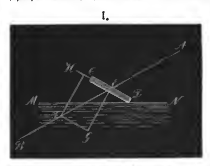
Weiter erhalten wir $n = \frac{2 \cdot 31{,}25 \cdot 6{,}2}{15{,}87 \cdot 7{,}2} = 3{,}438$. Setzen wir nun für t der Reihe nach die ersten ganzen Zahlen, so erhalten wir:

t	e^{nt}	v	s
1	31,14	14,88	11,10
2	969,6	15,83	26,45
3	30200	15,86	42,29.

Man sieht aus diesen Werthen, daß am Ende der ersten Secunde der Körper seine Maximalgeschwindigkeit fast erreicht hat, am Ende der dritten Secunde ist die Annäherung bereits so groß, daß der Unterschied weniger als $^1/_{100}$ Fuß ausmacht.

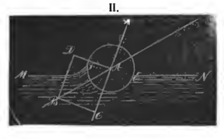
Der Widerstand des Wassers gegen Körper, welche in dasselbe eindringen wollen, ist in gewissen Fällen Ursache, daß diese Körper von dem Wasser wieder zurückspringen. Diese Erscheinung tritt am leichtesten dann ein, wenn der Körper leicht ist, mit großer Geschwindigkeit und unter einem sehr spitzen Winkel sich gegen die Oberfläche des Wassers bewegt und nicht mit einer Ecke oder einer scharfen Kante, sondern mit einer breiteren Fläche ziemlich gleichzeitig in das Wasser eindringen will. Es sei in nebenstehender Fig. I. MN die Oberfläche des Wassers, in der Richtung AB werde ein kleiner plattenförmiger Körper CD gegen das Wasser geworfen, der im Momente des Eindringens in das Wasser die in der Zeichnung angegebene Lage habe. Der Widerstand des Wassers gegen den eindringenden Körper wird senkrecht gegen die vordere Fläche des Körpers CD gerichtet sein; zerlegen wir nun die Geschwindigkeit EF des Körpers in die Seitengeschwindigkeiten EG und EH, von denen die erste ebenfalls senkrecht zur Vorderfläche des Körpers steht, die andere damit parallel läuft, so wird durch den Wasserwiderstand die Geschwindigkeit EG vernichtet werden, die Geschwindigkeit EH aber übrig bleiben. Ist der Körper selbst leicht, und ist seine Geschwindigkeit groß, so wird der große Widerstand des Wassers die Geschwindigkeit EG in sehr kurzer Zeit vernichten, so daß der Körper, jetzt der anderen Seitengeschwindigkeit allein folgend, in der Richtung EH vom Wasser abspringt. Selbst wenn CD bereits unter die Oberfläche des Wassers gedrungen ist, kann die Geschwindigkeit EH ihn dennoch das Wasser verlassen machen.

I.



Auch Kugeln können, wenn sie unter einem spitzen Winkel gegen das Wasser geschossen werden, von demselben wieder abspringen; da aber hier die Vorderfläche des eindringenden Körpers weniger günstig für das Eintreten dieser Erscheinung ist, so müssen die beiden anderen Bedingungen, nämlich große Geschwindigkeit und geringe Neigung der Bahn gegen die Wasseroberfläche, im besonderen Maße vorhanden sein. Es sei A (s. Fig. II.) eine Kugel, im Begriff in die Oberfläche MN einer Wassermasse einzudringen. Die Wasserwiderstand richtet sich gegen den von dem Wasser benetzten Theil der Kugeloberfläche und ist anfangs vertical aufwärts gerichtet, da aber die Kugel, während sie in der geneigten Richtung AB vorschreitet, etwas Wasser vor sich herschiebt (bei F), so hat die Mittelkraft des gesammten Wasser-

II.



widerstandes eine Richtung C A, die das Profil der vom Wasser benetzten Kugelfläche F E halbirt. Zerlegen wir nun die Geschwindigkeit A B der Kugel in zwei Seitengeschwindigkeiten, von denen die eine A C die Richtung des Wasserwiderstandes hat, die andere A D darauf senkrecht steht, so ist ersichtlich, wie der Wasserwiderstand die eine Bewegung vernichten kann, so daß der Kugel nur die andere Bewegung bleibt, mit der sie das Wasser verläßt. Soll aber die Kugel von der Oberfläche des Wassers wieder zurückspringen, so muß der Wasserwiderstand die ihm entgegenstehende Seitengeschwindigkeit A C früher vollständig vernichtet haben, bevor die Kugel vollständig untertaucht, denn sobald dies geschehen ist, hat der Widerstand des Wassers eine Richtung, die der Bewegungsrichtung genau entgegengesetzt ist, also eine Zerlegung der Bewegung nicht mehr bewirken kann. Außerdem ist ersichtlich, daß Größe und Richtung des Wasserwiderstandes in den einzelnen Augenblicken des Eindringens einer Kugel in eine Wasserfläche verschieden sind, daß also eine allmälige Ablenkung der Kugel aus ihrer Bahn bewirkt wird, die zwar zu einem Zurückspringen von der Wasserfläche führen kann, aber in beschränktem Maße in allen den Fällen vorhanden ist, wenn eine Kugel unter einem schiefen Winkel in eine Wasserfläche eindringt. Die Ablenkung nicht zurückspringender Kugeln ist dann von der Art, daß sie vom Einfallsloth abgelenkt werden.

2) Luftwiderstand. Zur Bestimmung des Luftwiderstandes sind in den beiden letzten Abschnitten alle Elemente gegeben, denn unter Berücksichtigung der Eigenthümlichkeit der Luft, daß ihre Dichte einerseits mit der jedesmaligen Barometer- und Thermometerhöhe veränderlich ist, andererseits die Geschwindigkeit der Bewegung die Dichte der widerstehenden Lufttheile vergrößert, verhält sich der Luftwiderstand eben so wie der Wasserwiderstand. Die oben für den Widerstand des Wassers gegen untersinkende Kugeln berechneten Formeln gelten auch für den Fall von Kugeln in der Luft, ihre Anwendung möge folgendes Beispiel zeigen.

Beispiel. Eine hohle Kugel von 4'' Durchmesser und $^1/_8$ Pfund Gewicht fällt in der Luft herab, der Barometerstand betrage $0{,}76^m$, die Temperatur 18^0 C., man soll die Bewegung während der ersten 3 Secunden verfolgen.

Es ist $r = 2'' = {}^1/_6{}'$, $g = 31{,}25$, $k = 0{,}513$. Eine Wasserkugel von $^1/_6{}'$ Radius hat ein Gewicht von $^4/_3\,(^1/_6)^3\,\pi\,.\,66 = 1{,}2799$ Pfund preuß., da unsere Kugel aber nur $^1/_8$ Pfund wiegt, so ist ihr specifisches Gewicht 0,09766. Setzen wir aber die Dichte der ruhenden atmosphärischen Luft gleich 1, so ist die Dichte unserer Kugel $= 850\,.\,09766 = 83{,}011$. Setzen wir nun in die Formel für die größte Geschwindigkeit $V = 2\sqrt{\frac{2\,r\,g\,(\gamma - \gamma')}{3\,k\,\gamma'}}$, für γ den Werth 83,011 und für γ' den Werth 1, so erhalten wir $V = 47{,}126$. Die Dichte der widerstehenden Luft steigert sich aber mit der zunehmenden Geschwindigkeit, bleibt also nicht constant, wie wir in dieser Rechnung angenommen haben. Bei einer Geschwindigkeit von v ist sie, wie oben angegeben ist, um das $\left(1 + \frac{v}{416{,}38}\right)$ fache größer als die Dichte der ruhenden Luft, wenn v in Metern angegeben ist, ist v in preußischen Fußen angegeben, so geht dieser Factor in $\left(1 + \frac{v}{1326{,}542}\right)$ über,

ist $v = 47{,}126'$, so folgt, daß für diese Geschwindigkeit die der Bewegung widerstehende Luft eine Dichte hat, die 1,035525 Mal so groß ist als die der ruhenden Luft. Für die in Rede stehende Bewegung steigert sich also die Dichte der widerstehenden Luft von 1 bis 1,035525, nehmen wir den mittleren Werth 1,017762 bei der Rechnung an, so erhalten wir angenäherte Resultate. Setzen wir in obige Formel für γ' den Werth 1,017762, so folgt für V der corrigirte Werth 46,7026'. Weiter erhalten wir nun im Anschluß an die oben entwickelten Formeln $n = \frac{2 \,.\, 31{,}25 \,.\, 81{,}9932}{46{,}7026 \,.\, 83{,}011} = 1{,}321848$, und

t	e^{nt}	v	s
1	3,75035	27,0398	14,4255
2	14,0651	40,5025	49,2790
3	52,749	44,9648	92,4553

Die oben angewendeten, für das Untersinken oder Fallen einer Kugel in einer widerstehenden Flüssigkeit aufgestellten Formeln lassen sich nicht für die aufsteigende Bewegung einer Kugel in der Luft anwenden, denn jetzt wirken die relative Schwere der Kugel und der Luftwiderstand gemeinschaftlich der Bewegung entgegen. Unter Beibehaltung der früheren Bezeichnung ist das relative Gewicht der Kugel $\frac{4}{3} r^3 \pi (\gamma - \gamma')$, hingegen der Luftwiderstand $\frac{k r^2 \pi \gamma'}{2g} v^2$, also der Gesammtwiderstand $\frac{4}{3} r^3 \pi (\gamma - \gamma') + \frac{k r^2 \pi \gamma'}{2g} v^2$; hieraus folgt nun die Verzögerung der Bewegung $G = \left(\frac{4}{3} r^3 \pi (\gamma - \gamma') + \frac{k r^2 \pi \gamma'}{2g} v^2\right) g : \frac{4}{3} r^3 \pi \gamma$ $= \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} g + \frac{3 k \gamma'}{8 \gamma} \cdot \frac{v^2}{r}$. Die Fundamentalgleichungen für die Bewegung sind jetzt $dv = G\,dt$,

$ds = v\,dt$ und

$ds = -\frac{v\,dv}{G}$.

Bezeichnen wir mit V die Anfangsgeschwindigkeit der vertical aufsteigenden Kugel, so giebt die Integration der ersten Gleichung nach Bestimmung der Constante

$$t = 2\gamma \sqrt{\frac{2r}{3k(\gamma - \gamma')\gamma' g}} \left(\text{Atg}\, \frac{V}{2} \sqrt{\frac{3k\gamma'}{2(\gamma - \gamma') r g}} - \text{Atg}\, \frac{v}{2} \sqrt{\frac{3k\gamma'}{2(\gamma - \gamma') r g}}\right),$$

und die Integration der dritten Gleichung giebt

$$s = \frac{4 r \gamma}{3 k \gamma'} \log \text{nat} \frac{8(\gamma - \gamma') g r + 3 k \gamma' V^2}{8(\gamma - \gamma') g r + 3 k \gamma' v^2}.$$

Setzen wir hierin $v = o$, so erhalten wir die Zeitdauer t' und die Höhe s' der ganzen aufsteigenden Bewegung,

$$t' = 2\gamma \sqrt{\frac{2r}{3k(\gamma - \gamma')\gamma' g}}\, \text{Atg}\, \frac{V}{2} \sqrt{\frac{3k\gamma'}{2(\gamma - \gamma') r g}}$$

$$s' = \frac{4 r \gamma}{3 k \gamma'} \log \text{nat} \frac{8(\gamma - \gamma') g r + 3 k \gamma' V^2}{8(\gamma - \gamma') g r}.$$

In vorstehender Rechnung ist, um die Integration in geschlossener Form zu ermöglichen, die Dichte γ' der widerstehenden Luft als constant angenommen, während sie doch von der Geschwindigkeit abhängig ist. Die Resultate sind deshalb nicht ganz genau, eine genügende Annäherung an die richtigen Werthe werden wir aber erhalten, wenn wir, wie es oben schon geschehen ist, für γ' den mittleren Werth annehmen; der größte Werth von γ' findet im Anfange der Bewegung statt, wenn $v = V$ ist, der kleinste aber Ende der aufsteigenden Bewegung, wenn $v = o$ ist.

Beispiel. Eine sechszöllige gußeiserne Kugel werde bei 0,76^m Barometerstand und 18° C. Temperatur mit 1000′ Geschwindigkeit vertical aufwärts geschossen, wie hoch wird sie steigen und wie lange wird die steigende Bewegung dauern.

Es ist $r = 3'' = 0{,}25'$, $k = 0{,}513$, $g = 31{,}25'$ $V = 1000'$. Für γ und γ' können wir wieder Verhältnißzahlen setzen. Setzen wir die Dichte der ruhenden atmosphärischen Luft bei 0,76^m Barometerstand und 18° C. gleich 1, so ist $\gamma = 7{,}2 \times 850 = 6120$. Die Luft, welche die Kugel im Anfange ihrer Bewegung vor sich her treibt, hat nach der oben angegebenen Formel eine Dichte von $1 + \frac{V}{1326{,}542} = 1{,}75384$, der für γ' zu setzende mittlere Werth beträgt danach 1,37692. Aus diesen Werthen ergiebt sich nun $t' = 5{,}02319$ Secunden und $s' = 1273{,}389$ Fuß. Die aufsteigende Bewegung der Kugel dauert also etwas über 5 Secunden und die Kugel erhebt sich etwas über 1273 Fuß. Dieselbe Kugel würde ohne den Luftwiderstand sich bis zu einer Höhe von 16000 Fuß erheben und würde dazu 32 Secunden gebrauchen.

Wird eine Kugel in schräger Richtung geworfen, so ist die Rechnung zur Verfolgung ihrer Bewegung noch zusammengesetzter. Die Bahn ist dann nicht, wie beim Wurf im luftleeren Raume, eine Parabel mit zwei symmetrischen Armen, sondern der abwärts gerichtete Arm ist kürzer und steiler als der aufwärts steigende. Die Bahnlinie heißt in diesem Falle ballistische Curve.

Bei geworfenen homogenen Kugeln, denen von vorn herein nur eine fortschreitende, aber keine rotirende Bewegung ertheilt ist, wirkt der Luftwiderstand nur einfach hemmend, durch seinen Einfluß wird die Geschwindigkeit der verticalen und der horizontalen Bewegung vermindert. Denn da der Luftwiderstand sich gleichmäßig über die vordere Halbkugelfläche verbreitet, so hat die Mittelkraft dieser einzelnen Widerstände eine Richtung, die durch den Schwerpunkt der Kugel geht. In allen anderen Fällen ist aber die Wirkung des Luftwiderstandes eine zusammengesetzte. Ist die der Luft entgegenstehende Vorderfläche des geworfenen Körpers nicht nach der Richtung der jedesmaligen Bewegung symmetrisch oder, wenn dies auch der Fall sein sollte, ist der Körper selbst nicht homogen, so wird die Mittelkraft des Luftwiderstandes nicht durch den Schwerpunkt des geworfenen Körpers gehen und folglich, wie alle Kräfte von dieser Lage, eine Rotation oder Oscillation hervorbringen. Die bekannte Erscheinung, daß längliche Körper, die an einem Ende schwerer als am anderen sind, beim Wurf sich mit dem schwereren Ende voran bewegen und einer Rotation widerstreben, wenn diese ihnen auch anfangs ertheilt ist, ist nur eine Folge von dem Luftwiderstande. Der Schwerpunkt solcher Körper liegt in der Nähe des schweren Endes, die Mittelkraft des

Luftwiderstandes ist aber, wenn der Körper bei der Bewegung eine Querlage annimmt, gegen die Mitte des Körpers gerichtet, deshalb entsteht stets in solchem Falle das Bestreben zu einer Drehbewegung, durch welche die Mitte eines solchen Körpers hinter seinen Schwerpunkt gebracht wird. Im luftleeren Raum würde ein solcher Körper in jeder Lage geworfen werden können und eine ihm ertheilte Rotation würde keine Hinderung erfahren.

Auf geworfene rotirende Kugeln hat der Luftwiderstand noch eine eigenthümliche Wirkung. Daß Geschützkugeln bei ihrer Bewegung rotiren, ist der gewöhnliche Fall. Nur wenn der Einfluß des explodirenden Pulvers auf die Kugel im Geschützrohre ein ganz gleichmäßiger wäre, würde die Kugel das Rohr ohne Rotation verlassen; das ist aber nicht der Fall. Zugleich schlägt die Kugel, ehe sie das Rohr verläßt, einige Mal an die Wand des Rohres an, und die anschlagende Stelle der Kugel erfährt hier wegen der Reibung eine Verzögerung; ferner strömt das durch die Entzündung des Pulvers entstandene Gas auch neben der Kugel aus dem Rohre, aber nicht an allen Seiten gleichmäßig, sondern oberhalb der Kugel mehr als seitwärts und unterwärts. Dies ausströmende Gas, insofern es mit Reibung an der oberen Seite der Kugel vorbeiströmt, ertheilt der Kugel eine rotirende Bewegung. In jedem einzelnen Falle kann man nicht vorauswissen, in welchem Sinne eine Kanonenkugel rotiren wird, daß sie aber rotirt, ist der gewöhnliche Fall. Die rotirende Kugel nun reibt sich an der Oberfläche mit der umgebenden Luft, diese Reibung läßt sich als eine Gruppe von Kräften denken, die an den einzelnen Peripheriepunkten der Kugel in der Richtung der Tangente, aber der vorhandenen Rotation entgegen, wirken. Rotirt die Kugel in gleichmäßig dichter Luft, wie es etwa bei einer um eine feste Axe rotirenden Kugel der Fall ist, dann wird in Folge der Luftreibung zwar die Rotation vermindert und allmälig aufgehoben, aber die einzelnen reibenden Kräfte liefern keine Mittelkraft, die dem Schwerpunkt der Kugel eine Bewegung ertheilen möchte. Das ist nun bei einer geworfenen Kugel anders. Vor der Kugel ist die Luft verdichtet, hinter der Kugel ist sie verdünnt, deshalb ist auch die Reibung vorn stärker als hinten, und aus den einzelnen reibenden Kräften resultirt eine Mittelkraft, welche auf den Schwerpunkt der Kugel wirkt und sie aus ihrer Bahn zu drängen strebt. Die nähere Wirkungsweise hängt von der Lage der Rotationsaxe ab.

Bezeichnet der Kreis C den Verticaldurchschnitt einer Kugel, die sich von A nach B bewegt, und die zugleich von hinten über oben nach vorn um eine horizontale Axe rotirt, die auf der Bahnrichtung senkrecht steht, so ist die Luftreibung an der Vorderfläche bei B aufwärts wie B b gerichtet, die Reibung an der hinteren Fläche bei A ist hingegen abwärts wie A a gerichtet, die Reibung an der oberen Seite ist nach hinten, die an der unteren Seite nach vorn gerichtet. Da aber wegen der bei B verdichteten Luft die Reibung B b größer ist als die Reibung A a, so haben die nach oben gerichteten reibenden Kräfte ein Uebergewicht, und aus allen reibenden Kräften gemeinschaftlich resultirt eine Mittelkraft D C, die den Mittelpunkt der Kugel nach oben treibt, die Kugel hebt



und Veranlassung wird, daß sie weiter fliegt, als es ohne diesen Einfluß der Rotation der Fall sein würde. Hätte aber die Kugel die entgegengesetzte Rotation, nämlich die von hinten über unten nach vorn, gehabt, so mußte die Wirkung auch die entgegengesetzte sein. Die überwiegende Reibung an der vorderen Seite der Kugel ist dann nach unten gerichtet, die Kugel wird dann durch den Gesammteinfluß der Reibung herabgedrückt und sie fällt früher nieder, als es ohne die Rotation der Fall gewesen wäre. In diesen beiden Rotationsfällen wurde die Kugel entweder gehoben oder niedergedrückt, sie wurde weiter getragen oder früher zum Fallen gebracht, sie blieb aber in der Verticalebene der Bahn, eine Ablenkung nach rechts oder links fand nicht statt. Das wird nun immer der Fall sein, wenn die Rotationsaxe horizontal und senkrecht zur Verticalebene der Bahn gerichtet bleibt. Verläßt sie aber diese Lage und nimmt eine schräge oder verticale Richtung an, so tritt zugleich eine seitliche Ablenkung der Kugel ein. Nehmen wir der Einfachheit wegen eine verticale Rotationsaxe an, und die Rotation geschehe von hinten über rechts nach vorn, so hat die überwiegende Reibung an der Vorderfläche eine Richtung nach links, so daß auch die Kugel selbst aus der Verticalebene der ursprünglichen Bahn nach links abgelenkt wird. Die entgegengesetzte Rotation bringt auch die entgegengesetzte Wirkung, nämlich eine Ablenkung nach rechts hervor. Denken wir uns nun drittens, die Wurflinie sei nahezu horizontal, die Rotationsaxe der Kugel sei aber auch horizontal und falle mit der Wurflinie zusammen, so daß also der eine Endpunkt der Rotationsaxe an der Vorderfläche liegt und der verdichteten Luft zugekehrt ist, der andere aber der verdünnten Luft zugewendet ist, so vertheilen sich die reibenden Kräfte gleichmäßig um die Rotationsaxe, ein einseitiges Ueberwiegen der Reibung an der Vorderfläche findet dann eben so wenig statt, als irgend eine Ablenkung aus der eigentlichen Bahn. Das sicherste Schießen wird also dann stattfinden, wenn man der Kugel zugleich eine Rotation um eine horizontale Längsaxe ertheilen kann. Erreicht wird dieser Zweck auch durch die sogenannten gezogenen Gewehrläufe; denn diese nöthigen durch die schraubenförmigen Windungen im Innern die Kugel zu einer Rotation um eine Längsaxe, führen damit zur Ausschließung der übrigen Rotation und zu einem sicheren Treffen des Ziels. Kommt es aber weniger hierauf, als auf die Erzielung einer großen Wurfweite an, so kann man sich dazu der Rotation bedienen. Liegt der Schwerpunkt, z. B. einer großen Hohlkugel, nicht im Mittelpunkte und wird die Kugel beim Laden so gelegt, daß ihr Schwerpunkt vertical unter ihrem Mittelpunkt zu liegen kommt, so muß sie, wenn sie das Rohr verläßt, so um eine horizontale Axe rotiren, daß ihre Theile von hinten über oben nach vorn sich drehen, folglich muß dann auch, wie oben gezeigt ist, die Wurfweite die verhältnißmäßig größte werden *).

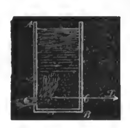
C. Reaction ausströmender Flüssigkeiten.

Sind die Seitenwände eines mit Wasser gefüllten Gefäßes geschlossen, so heben sich die hydrostatischen Seitendrucke der Flüssigkeit gegen die Gefäßwandungen auf, das Gefäß erleidet nur einen Verticaldruck gleich dem Gewicht der darin enthaltenen Flüssigkeit. Befindet sich aber in der Seitenwand eine Oeffnung, so fällt der gegen diesen Wandtheil gerichtete Seitendruck fort, dadurch wird der

*) Vergl. Magnus, Pogg. Ann. Bd. 88, S. 1 ff.

gegen den gegenüberliegenden Wandtheil gerichtete Seitendruck frei und das Gefäß muß nach der der Oeffnung entgegengesetzten Seite hin einen Druck erleiden. Es liegt nun die Erwartung nahe, daß dieser Seitendruck des Gefäßes gleich dem wegen der Oeffnung ausfallenden hydrostatischen Drucke sein müßte, also gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche die Wandöffnung zur Basis und die Höhe der Oberfläche der Flüssigkeit über dem Schwerpunkt der Oeffnung zur Höhe hätte, aber diese Erwartung ist nicht richtig; der Seitendruck, den das Gefäß erleidet, ist größer als der hydrostatische Druck, der gegen das der Oeffnung gegenüberliegende Wandstück gerichtet ist; denn das aus der Oeffnung ausströmende Wasser übt einen Rückstoß (Reaction) aus, welcher zu jenem hydrostatischen Druck noch hinzukommt.

In dem mit Wasser gefüllten Gefäße A B (s. beistehende Figur) befinde sich in der Seitenwand eine Oeffnung in der Größe F, die mittlere Höhe des Wasserspiegels über dieser Oeffnung sei h, die (theoretische) Ausflußgeschwindigkeit des Wassers also $v = \sqrt{2gh}$ und die theoretische Ausflußmenge in der Secunde $Fv = F\sqrt{2gh}$. Bezeichnet γ das Gewicht der Volumeneinheit Wasser, so ist $Fv\gamma$ das Gewicht der in der Secunde zum Ausfluß kommenden Wassermenge und $Fv\gamma\,\frac{v^2}{2g} = \frac{Fv^3\gamma}{2g}$ das Arbeitsvermögen dieser Wassermenge. Bewegt sich nun das Gefäß in einer der Ausflußbewegung genau entgegengesetzten Richtung C D mit der Geschwindigkeit c, so ist die absolute Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers nicht mehr v, sondern vielmehr nur $v - c$, sein Arbeitsvermögen beträgt also nur $Fv\gamma.\frac{(v-c)^2}{2g}$. Ziehen wir diese Größe ab von dem Arbeitsvermögen, welches dieselbe Wassermenge ursprünglich besaß, so erhalten wir die Arbeit, welche durch die Reaction des Wassers auf das Gefäß übertragen ist, dieselbe hat also die Größe



$$\frac{Fv^3\gamma}{2g} - \frac{Fv(v-c)^2\gamma}{2g} = \frac{Fvc(2v-c)\gamma}{2g}.$$

Uebt die Reaction des Wassers auf die der Ausflußöffnung gegenüberliegende Gefäßwand den Druck P aus, so ist die Arbeit dieses Druckes Pc; da dieser Arbeitswerth dem vorigen gleich sein muß, so ergiebt sich

$$P = \frac{Fv(2v-c)\gamma}{2g}.$$

Wird das Gefäß nicht bewegt, so ist $c = 0$ und es folgt unmittelbar:

$$P' = \frac{Fv^2\gamma}{g} = 2\,Fh\gamma$$

d. h. die (theoretische) Rückwirkung des aus einer Gefäßöffnung in horizontaler Richtung ausfließenden Wassers auf die Wand des ruhenden Gefäßes ist gleich dem Gewicht einer Wassersäule, welche die Ausflußöffnung zur Grundfläche und

die **doppelte** Druckhöhe des Wassers zur Höhe hat. Der wirkliche Werth dieser Reaction stellt sich etwas geringer, theils wegen der Verminderung der Ausflußöffnung, theils wegen der Contraction des Wasserstrahls. Die Größe dieser Reaction bleibt auch dieselbe, wenn auch die Richtung der Ausflußbewegung nicht horizontal ist, und die Richtung der Reaction bleibt stets der Richtung der Ausflußbewegung entgegengesetzt. —

Ist $v = c$, d. h. bewegt sich das Gefäß mit derselben Geschwindigkeit rückwärts, mit welcher das Wasser ausfließt, so ist die absolute Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers gleich o, und für P erhalten wir den Werth

$$P'' = \frac{F v^2 \gamma}{2g} = F h \gamma.$$

Der Druck gegen die der Oeffnung entgegenstehende Gefäßwand ist in diesem Falle nur dem einfachen hydrostatischen Druck gleich. Ist $c = v$, so ist auch die Arbeit der Reaction ein Maximum.

Angewendet wird die Reaction des ausfließenden Wassers zum Maschinenbetriebe bei dem Reactionsrade oder dem Segner'schen Wasserrade, welches vervollkommnet als schottische oder Whitelaw'sche Turbine vorkommt.

Auch die comprimirte Luft übt beim Ausfluß aus einem Gefäße einen Rückstoß auf die Rückwand des Gefäßes aus, der sich genau so wie die Wasserreaction verhält. W. S.

Mechanische Arbeit. Unter der Arbeit oder Leistung einer Kraft versteht man die Summe der Wirkungen, welche eine Kraft während der Bewegung hervorbringt.

Wenn eine Kraft auf einen Körper wirkt, und ihr eine andere gleich große entgegen wirkt, so heben beide Kräfte sich gegenseitig auf, es entsteht keine Bewegung. Obwohl das Dasein beider Kräfte einen ruhenden Druck hervorbringt, so kann doch nicht von Wirkungen der Kräfte die Rede sein, so lange auch dieser Zustand dauert, denn es tritt keine mechanische Aenderung ein, die als eine Wirkung jener ersten Kraft aufgezeigt werden könnte. Deshalb kann von der Arbeit einer Kraft, die im Gleichgewicht steht mit einer oder mehreren anderen, nicht gesprochen werden.

Erst wenn durch die Kraft Bewegung hervorgebracht wird, können Aenderungen gewisser Verhältnisse eintreten, in denen sich die Wirksamkeit der Kraft oder ihre Arbeit zu erkennen giebt. Zu diesen auf Rechnung der Kraft zu stellenden Veränderungen ist aber von vornherein die größere oder geringere Ortsveränderung nicht zu rechnen, denn diese tritt bei einem einmal bewegten Körper ohne weitere Kraftwirkung ein, blos in Folge des Beharrungsvermögens. Die besonderen Wirkungen der Kraft während der Bewegung sind doppelter Art.

Wir unterscheiden zunächst zwei Fälle: entweder stehen der bewegenden Kraft andere Kräfte hindernd entgegen oder nicht. Stehen ihr keine Hindernisse entgegen, so versetzt sie den Körper, auf den sie wirkt, aus der Ruhe in Bewegung und diese Bewegung wird fortwährend beschleunigt. Die Wirkung oder Leistung der Kraft besteht dann in der Erzeugung einer gewissen Geschwindigkeit in einer gewissen Masse.

Steht aber der bewegenden Kraft eine andere Kraft hindernd entgegen, so kann Bewegung entstehen, wenn die hindernde Kraft kleiner ist als die bewegende;

insofern nun eine Bewegung entsteht, die entgegengesetzt gerichtet ist mit der hindernden Kraft, so sagt man, diese letztere werde von der bewegenden Kraft überwunden, und diese Ueberwindung eines Hindernisses ist dann die zweite Form, unter welcher die Arbeit einer Kraft auftreten kann. Mit dem Ueberschuß der bewegenden Kraft über die hindernde wird die entstandene Bewegung fort und fort beschleunigt werden, so daß die Gesammtarbeit der Kraft besteht 1) aus Geschwindigkeit, die in einer gegebenen Masse erzeugt ist, und 2) aus Ueberwindung eines gewissen Hindernisses. Sollte bei einem bewegten Körper das Hinderniß so steigen, daß es der bewegenden Kraft gleich käme, so würde keine Beschleunigung der Bewegung mehr eintreten, die gesammte Arbeit der Kraft bestände fortan nur in der Ueberwindung des Hindernisses.

Es fragt sich jetzt, wie mißt und vergleicht man die beiden Formen der mechanischen Arbeit.

Die Ueberwindung eines Hindernisses ist proportional mit dem Hinderniß und mit Wege, auf welchem es überwunden, d. i. zurückgedrängt ist. Der erste Theil dieses Satzes ist aus sich selbst klar, der zweite folgt aus der Betrachtung, daß die Wirksamkeit des Hindernisses für jeden Theil des Weges, auf welchem es wirkt, dieselbe ist. Ein Körper, der 10 Pfund schwer ist, setzt dem Bestreben, ihn vertical aufwärts zu heben, ein Hinderniß von 10 Pfund entgegen, wird dieser Körper nun mehrere Fuß hoch gehoben, so ist der Widerstand, den das Gewicht dieser Bewegung entgegensetzt, gewiß für jeden Fuß Hebung derselbe, so wie auch die Anstrengung zur Ueberwindung dieses Widerstandes für jedes einzelne Pfund des Körpers dieselbe sein wird. Als Einheit nimmt man hierbei die Arbeit oder Anstrengung, die nöthig ist, um 1 Pfund um 1 Fuß zu heben, und nennt diese Einheit ein Fußpfund. (Für französisches Maß und Gewicht dient zur Einheit die Anstrengung, die nöthig ist, um ein Kilogramm um einen Meter zu heben, und heißt Kilogrammmeter.) Um nun irgend eine Widerstandsüberwindung nach Fußpfunden zu messen, braucht man nur den in Pfunden ausgedrückten Widerstand mit der in Fußen ausgedrückten Länge des Weges, auf welchem dieser Widerstand gewirkt hat, zu multipliciren. Ist z. B. eine Zugkraft von 200 Pfund nöthig, um bei einem beladenen Wagen auf horizontaler Bahn alle Reibungshindernisse zu überwinden, und wird dieser Wagen um 30 Fuß fortbewegt, so war die dabei ausgeübte Arbeit gleich $30 \times 200 = 6000$ Fußpfund, d. h. sie war 6000 Mal so groß als die Anstrengung, die nöthig ist, um 1 Pfund 1 Fuß hoch zu heben. Muß ein Spaten, um in das Erdreich einzudringen, einen Druck von 40 Pfund erfahren, so gehört zu jedem $^3/_4$ Fuß tiefen Spatenstich eine Arbeit von $^3/_4 \times 40 = 30$ Fußpfund.

Hierbei ist zu beachten, daß die Größe der Arbeit durchaus unabhängig ist von der dazu verbrauchten Zeit, dieselbe Arbeit kann in wenig und in viel Zeit ausgeführt werden, ohne deshalb an Größe eine andere zu werden.

Wenn die Arbeit einer Kraft in erzeugter Geschwindigkeit besteht, so fragt es sich, wie diese Arbeitsgröße gemessen wird durch dasselbe Arbeitsmaß, das Fußpfund. Ein bewegter Körper hat das Vermögen gewisser Hindernisse zu überwinden; so läuft ein in Bewegung gesetzter Wagen noch eine Strecke ohne Zugkraft fort, und überwindet auf dieser Strecke die sämmtlichen Reibungshindernisse seiner Bewegung; ein Hammer, der auf ein glühendes Stück Eisen fällt, überwindet hier Festigkeitshindernisse und giebt dem Eisenstück eine andere Gestalt, ein

aufwärts geworfener Körper steigt bis auf eine gewisse Höhe und überwindet auf diesem Wege seine eigene Schwere. Jeder bewegte Körper besitzt also ein Vermögen, eine gewisse Arbeitsgröße auszurichten, und dieses Arbeitsvermögen nennt man seine **lebendige Kraft** *). (Die lebendige Kraft ist keine Kraft im streng mechanischen Sinne, denn die Kräfte werden gemessen durch die Einheit des Pfundes, die lebendige Kraft aber wird durch die Einheit des Fußpfundes gemessen.)

Die Größe der lebendigen Kraft eines Körpers, der P Pfund schwer ist und eine Geschwindigkeit von v Fußen besitzt, wird erkannt, wenn man annimmt, er bewege sich mit dieser Geschwindigkeit vertical aufwärts; denn alsdann hat er sein eigenes Gewicht P als Hinderniß zu überwinden, und da er sich nach der Lehre von der gleichförmig verzögerten Bewegung bis auf die Höhe $\frac{v^2}{2g}$ ($g = 31{,}25$ Fuß) erhebt, so folgt unmittelbar für die Größe der in ihm vorhandenen lebendigen Kraft der Werth $P \cdot \frac{v^2}{2g}$ oder $\frac{1}{2} M v^2$, wenn M die Masse des Körpers, da $P = Mg$ ist. Dieses Arbeitsvermögen besitzt nun der Körper überhaupt, er mag sich nun wirklich vertical aufwärts oder in einer beliebig anderen Richtung bewegen.

Erscheint nun die Arbeit einer Kraft im Allgemeinen zum Theil als Ueberwindung gewisser Hindernisse, zum Theil aber als lebendige Kraft in Bewegung gesetzter Massen, so läßt sich nun das wichtige Gesetz zeigen, daß die Summe beider durch dieselbe Einheit gemessenen Wirkungsarten stets dieselbe Größe hat, wenn dabei dieselbe Kraft K denselben Weg s zurücklegt, und daß diese Summe stets dem Product Ks gleich ist. Um diesen Satz zu beweisen, wollen wir annehmen, eine Kraft K wirke auf einen Körper vom Gewicht P und ertheilte ihm eine Geschwindigkeit v, während beide den Weg s zurücklegen, dabei werde ein Widerstand Q um den Weg s' zurückgedrängt. Die Arbeit des Widerstandes ist Qs', die erzeugte lebendige Kraft ist $\frac{Pv^2}{2g}$, es bleibt also die Richtigkeit folgender Gleichung zu beweisen:

$$Ks = \frac{Pv^2}{2g} + Qs'.$$

Der Widerstand Q legt einen anderen Weg zurück als der Körper P oder als die Kraft K, nehmen wir aber an, daß ihre Bewegungen stets proportional bleiben, so folgt, daß der Widerstand Q, um aufgehoben zu werden, ein Kraft $X = \frac{Qs'}{s}$ in Anspruch nimmt, es muß also $K > \frac{Qs'}{s}$ sein, wenn überhaupt Bewegung entstehen soll. Der Ueberschluß von K, nämlich $K - \frac{Qs'}{s} = \frac{Ks - Qs'}{s}$

*) Früher und noch hin und wieder jetzt nannte man lebendige Kraft das Product aus der Masse M eines bewegten Körpers mit dem Quadrat seiner Geschwindigkeit v, ohne mit dem Product Mv^2 eine bestimmte mechanische Größe zu bezeichnen. Es ist aber besser unter **lebendiger Kraft** des Arbeitsvermögen zu verstehen, wodurch sich ihr Werth auf die Hälfte des älteren Werthes reducirt.

wird auf Erzeugung von Bewegung verwandt, und da er auf einen Körper vom Gewicht P wirkt, so erzeugt er in demselben eine Beschleunigung von $\frac{Ks - Qs'}{s} . g : P$ oder $\frac{(Ks - Qs')\,g}{Ps}$, folglich auf dem Wege s eine Geschwindigkeit $v = \sqrt{2s . \frac{(Ks - Qs')}{Ps}\,g} = \sqrt{\frac{Ks - Qs'}{P} . 2g}$.

Setzen wir diesen Werth für v in obige Gleichung ein, so wird sie identisch, womit also ihre Richtigkeit bewiesen ist.

Der auf Erzeugung von lebendiger Kraft verwandte Theil der Kraft-Arbeit ist an den bewegten Körper übergegangen und kann von demselben vorkommenden Falls verbraucht werden. Wenn daher an einer Maschine vorübergehend die Hindernisse größer sind als die bewegenden Kräfte, so daß die Arbeit des Hindernisses nicht aufgewogen werden kann durch die Arbeit der Kraft, so wird der zur Ausgleichung nöthige Theil von Arbeit von der lebendigen Kraft der bewegten Maschinentheile entnommen, die in Folge dieses Verlustes sich langsamer bewegen und endlich zum Stillstand kommen, wenn jenes Uebergewicht der Hindernisse über die bewegenden Kräfte fortdauert. Daher erscheint die lebendige Kraft als eine noch nicht zur Ausführung gekommene, aufgesparte Arbeit, und es kann selbst das Interesse eintreten, eine große Menge solcher Arbeit in der Form von lebendiger Kraft aufzusparen, um davon besonderen Gebrauch zu machen. Diese Bedeutung hat besonders das Schwungrad. (Vergl. d. Art. Maschine.) Es giebt aber noch einige andere Arten mechanischer Arbeit, die als aufgesparte Arbeit betrachtet werden können, insofern man von dem Resultat die darauf verwendete Arbeit wieder zurückerhalten kann. Dahin gehört zunächst die Arbeit in der Form gehobener Lasten; die darauf verwandte Arbeit kann zu irgend einer Zeit wieder zurückerstattet werden, wenn man die gehobene Last wieder herabsinken läßt; denn dieselbe Arbeit Ph, die ich anwenden muß, um ein Gewicht P auf die Höhe h zu heben, kann ich wieder erhalten, indem jenes Gewicht um diese Höhe herabsinkt. Wird ein Uhrgewicht aufgezogen, so wird der Uhr damit ein gewisses Arbeitsquantum übergeben; dadurch, daß das Gewicht wieder herabsinkt, geht dieses Arbeitsquantum an das Uhrwerk über und überwindet hier die verschiedenen Reibungshindernisse im Gange der Uhr. Eben so wie ein gehobenes Gewicht als conservirte Arbeit erscheint, eben so auch eine gespannte Feder oder eine comprimirte Luftmenge. Die zur Spannung der Feder oder zur Comprimirung der Luft verbrauchte Arbeit kann wieder erhalten werden, indem jene sich auf ihren ursprünglichen Zustand ausdehnen.

Andere Arten der Arbeit können aus dem gewonnenen Resultat derselben nicht wieder zurückerhalten werden, sie erscheinen vollständig aufgezehrt. Dahin gehört die Arbeit zur Ueberwindung der Reibung, der Festigkeit bei Stoffen, die zerkleinert sind, eben so der Theil von lebendiger Kraft, der beim Stoß unelastischer Körper verloren geht. Früher sagte man geradezu, durch Reibung, Stoß und dergleichen gehe Arbeit, lebendige Kraft verloren, in neuerer Zeit hat man in diesem scheinbaren Verlorengehen von Arbeit ein wesentliches Verhältniß der Naturkräfte erkannt, indem sich gezeigt hat, daß für jedes bestimmte Quantum Arbeit, das da scheinbar verloren geht, ein bestimmtes Quantum Wärme auftritt, so wie umgekehrt folgt, daß wenn die Wärme als Ursache von Arbeit auftritt,

ein bestimmtes Quantum Wärme als Wärme aufgehört und sich in mechanische Arbeit umgesetzt hat. (Das Nähere über die Beziehung der mechanischen Arbeit zur Wärme siehe in dem Artikel Wärme, das mechanische Aequivalent derselben.)

Ueberall wo Kräfte in Bewegung sich befinden, da ist auch Arbeit, will man nun den Werth mehrerer Arbeitsquellen mit einander vergleichen, so muß man die Zeit zu Hülfe nehmen, indem man die Arbeitsquanta vergleicht, die in gleichen Zeiten hervorgebracht werden. Die Fähigkeit nun, ein gewisses Arbeitsquantum in bestimmter Zeit hervorzubringen, heißt Arbeitskraft, und als Einheit gilt die sogenannte Pferdekraft. Unter einer Pferdekraft versteht man nun die Fähigkeit, 510 Fußpfund Arbeit in der Secunde hervorzubringen (75 Kilogrammmeter in 1 Secunde). Eine andere, aber weniger gebräuchliche Einheit für die Arbeitskraft ist die Dynamie oder Dynamide, unter der alsdann die Fähigkeit verstanden wird, eine Arbeit von 1000 Kilogrammmeter in der Secunde auszuüben.

Ueberblicken wir zum Schluß noch einmal die drei Begriffe: Kraft, Arbeit und Arbeitskraft, so ergiebt sich, daß Kraft ein einfacher Begriff ist, sie ist die Ursache der Bewegung und wird gemessen durch das Pfund als Krafteinheit; der Begriff Arbeit zerlegt sich in die beiden Elemente Kraft und Weg, sie ist die Anstrengung (Leistung, Wirkung) einer gewissen Kraft auf einem gewissen Wege; sie wird gemessen von dem Fußpfund als Arbeitseinheit; die sogenannte lebendige Kraft ist eine aufgesparte Arbeit; der Begriff Arbeitskraft aber zerlegt sich in die drei Elemente Kraft, Weg und Zeit, sie ist die Fähigkeit zu einer gewissen Arbeit in gewisser Zeit, ihre Einheit ist die Pferdekraft. W. S.

Meer, Weltmeer, Ocean, die See heißt die große Wassermasse, welche in stetigem Zusammenhange einen großen Theil der Erdoberfläche ausmacht und die großen Ländermassen sowohl, welche Festlande (lat. Continente) genannt werden, als auch die Inseln umgiebt. Aber nicht nur diese große Wassermasse als ein Ganzes wird so bezeichnet, sondern auch einzelne Theile derselben, welche durch die Begrenzung des Festlandes als abgesonderte Glieder aus dem Ganzen sich ausscheiden, oder wegen ihres besonderen Charakters eine Sonderung von den übrigen Theilen bedingen, werden mit diesem Namen belegt, sogar größere Theile dieser Abtheilungen haben wieder die Bezeichnung als Meere erhalten und selbst einzelne große Binnenseen, ungeachtet dieselben mit dem Weltmeere in gar keiner Verbindung stehen.

Der Hauptmeere zählt man fünf:

1) Das nördliche Eismeer oder der arktische Ocean oder das arktische Polarmeer von dem Nordpole bis 66½° n. Br.
2) Der atlantische Ocean oder das atlantische Meer — so genannt nach dem Gebirge Atlas im Norden Afrikas — von 66½° n. Br. bis 66½° s. Br. zwischen Europa und Afrika einer und Amerika anderer Seits.
3) Der indische Ocean im Süden von Asien, im Osten von Afrika und im Westen und Süden von Australien bis 66½° s. Br.
4) Der große oder stille Ocean zwischen Amerika und Asien von 66½° n. Br. bis 66½° s. Br. — still genannt, weil Magelhaens bei seiner Beschiffung dieses Meeres zufällig sehr ruhiges Wetter hatte.

5) Das südliche Eismeer oder der antarktische Ocean oder das antarktische Polarmeer von dem Südpole bis 66½° s. Br.

Die größeren Meerarme, welche in Ländermassen hineinreichen, heißen mittelländische Meere; kleinere Einbiegungen des Meeres in das Land werden Meerbusen, Busen oder Bucht, Bai oder Golf, Haff, Hafen genannt. Meerarme, welche zwischen zwei Ländermassen hindurch gehen und größere Meere oder Meerestheile mit einander in Verbindung setzen, heißen: Meerenge, Straße, Canal, Sund. Da die Küste, d. h. das Ufer des Meeres — auch Strand und Gestade genannt — nirgends geradlinig fortgeht, sondern mit unzähligen größeren und kleineren Einbiegungen versehen ist, so giebt es eine unzählbare Menge von Busen, Buchten 2c., von denen viele, besonders die durch Größe und durch Bequemlichkeit für die Schifffahrt ausgezeichneten, eigene Namen haben.

Das Meer nimmt den größten Theil der Erdoberfläche ein, und zwar ungefähr zwei Dritttheile, während nur etwa ein Dritttheil auf das feste Land kommt *).

1) Meeresspiegel. Da es ein allgemeines hydrostatisches Gesetz ist, daß eine Flüssigkeit an ihrer Oberfläche stets einen horizontalen Stand anzunehmen strebt, und da alle Meere unter einander in Verbindung stehen, so folgt hieraus, daß die Oberfläche des Meeres (der Meeresspiegel) auch überall dieselbe Höhe haben müßte. Unter dieser Voraussetzung pflegt man daher alle Höhenmessungen auf der Erde als Erhebungen über die Meeresfläche zu bestimmen **). Indessen da die Erde ein um seine Axe rotirender Körper ist, so folgt schon hieraus, daß nicht alle Punkte der ruhigen Meeresoberfläche gleich weit von dem Mittelpunkte der Erde abstehen können ***), und außerdem machen auch diejenigen Meere größtentheils eine Ausnahme, welche vom Lande in ihrer größten Ausdehnung eingeschlossen sind und mit der übrigen Wassermasse des Meeres nur durch enge Kanäle in Verbindung stehen.

Das rothe Meer, welches sich fast von Süd nach Nord vom 13 bis 30° n. Br., also über mehr als 250 geogr. Meilen, erstreckt, steht an der Straße Bab-el-Mandeb höher als in dem Busen von Suez, und zwar soll vom Mai bis October der Höhenunterschied zwei Fuß betragen. Es erklärt sich dieser Niveauunterschied aus der in jener Zeit vorherrschenden nördlichen Windrichtung und der zur selben Zeit auftretenden großen Hitze, durch welche das aus dem arabischen Meere kommende, das rothe Meer speisende, Wasser auf seinem Wege von Süden nach Norden eine starke Verdunstung und mithin eine quantitative Verminderung erleidet. Beweise hierfür werden wir noch bei Besprechung des Meereswassers (s. Nr. 3. dieses Artikels) beibringen.

Die Ostsee steht bei Kiel mindestens 1 Fuß höher als die Nordsee an der Mündung der Eider ****), wie sich durch ein Nivellement ergeben hat. Dafür spricht auch die vom Sunde und den Belten in das Kattegat gehende Strömung

---

*) Vergl. Art. Erde. Bd. II. S. 914.

**) Vergl. Art. Höhe eines Punktes über einer Ebene. Bd. III. S. 806, aber auch Art. Höhenmessung, barometrische ebenda. S. 825 und 826.

***) Vergl. Art. Erde. Bd. II. S. 890.

****) Woltmann in Pogg. Ann. Bd. II. S. 444.

selbst bei nördlichen Winden, woraus zwischen dem bothnischen Meerbusen bei Torneå und dem Kattegat eine Niveaudifferenz von wenigstens 5 Fuß sich ergeben würde. Als Grund nimmt man an, daß auf der Ostsee nicht so viel Wasser verdunstet, als durch die flußreichen Küsten hineingeführt wird.

Eben so steht das schwarze Meer höher als das Marmara-Meer, wofür die starke Strömung in der Straße von Constantinopel, in dem Bosporus, spricht, und da die Strömung in dem Hellespont wiederum einen höheren Stand des Marmara-Meeres gegen den griechischen Archipelagus erweist, so muß zwischen dem schwarzen Meere und dem mittelländischen Meere ein bedeutender Unterschied im Niveau sein.

Das mittelländische Meer, welches verhältnißmäßig wenig große Flüsse aufnimmt, steht ebenfalls niedriger als der atlantische Ocean, wie die von Westen nach Osten gerichtete Strömung in der Straße von Gibraltar erweist. Desgleichen soll dies Meer einen niedrigeren Stand haben als das rothe Meer, zu Zeiten um 30½ Par.Fuß. Nach Lepère liegt der Spiegel bei Alexandrien 8,1 Meter unter dem Ebbestande und 9,9 Meter unter dem Fluthstande des rothen Meeres; doch hat man später einen Rechnungsfehler entdeckt und den Unterschied auf 9 Fuß herabgesetzt. Bei Perpignan steht das mittelländische Meer 2,7 Fuß niedriger als die Nordsee bei Dünkirchen, und zwischen Perpignan und Bayonne soll der Niveauunterschied sogar 5,14 Fuß betragen. (?) Die geodätischen Operationen von Coraboeuf und Delcros ergeben gar keinen bemerkbaren Unterschied *).

Daß an den westlichen Küsten die Meere einen höheren Stand haben müssen, als an den östlichen, ist eine Folge von der in der Richtung von West nach Ost gehenden Axendrehung der Erde. Hiernach muß das atlantische Meer an der Ostküste Amerikas höher stehen, als der stille Ocean an der Westküste; eben so muß es an den Küsten Afrikas zwischen dem Niveau des indischen und atlantischen Meeres sein. Nach einem geodätischen Nivellement durch Lloyd und Falmare in den Jahren 1828 und 1829 liegt die Südsee höchstens 3,4 Fuß — nach Poggendorff's Bemerkung aber nur 0,17 Fuß — höher als das antillische Meer **). A. v. Humboldt hatte aus Barometermessungen auf einen Unterschied von nicht über 3 Meter (9 F. 3 Z.) geschlossen. Im Allgemeinen spricht sich Letzterer ***) dahin aus, daß die Oberfläche aller mit einander zusammenhangenden Meere hinsichtlich ihrer mittleren Höhe als vollkommen im Niveau stehend betrachtet werden müsse, und daß nur örtliche Ursachen permanente Verschiedenheiten hervorbringen können.

Einige Naturforscher haben angenommen, daß das Meer in einer fortwährenden Abnahme begriffen sei. Da durch die Flüsse ununterbrochen eine große Menge Sand und Erde in das Meer geschwemmt werden, so sollte die Oberfläche desselben, wie es scheint, vielmehr erhöht als erniedrigt werden, während dennoch nicht jenes, sondern vielmehr dieses durch die Erfahrung bestätigt zu werden scheint. Es ist bekannt, daß eine große Anzahl von Städten, welche ehemals an der Küste lagen, gegenwärtig in bedeutenden Entfernungen von ihr abstehen. Im Jahre

*) Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 324.
**) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 131.
***) a. a. O., vergl. auch Anmerkung S. 476.

1513 haben die Portugiesen die Stadt Mochha an der Küste des rothen Meeres angelegt, welche jetzt eine große Strecke davon entfernt liegt. Nach einer alten Volkssage soll Culm früher nahe am Meere gelegen haben. In dem Hafen Hith in Großbritannien weidet jetzt das Vieh. Aiguemortes hatte 1248 einen berühmten Hafen und liegt jetzt eine Stunde vom Meere entfernt. Dasselbe gilt von Ravenna und Adria. Pius V. ließ bei der Mündung der Tiber am Meeresufer einen Thurm bauen, welcher nach 145 Jahren gegen 1000 Fuß vom Meere entfernt war. Eben so hatte man auf ein Sinken des Meeresniveaus geschlossen und zwar in 36 Jahren im Betrage von 17 Zoll aus Erscheinungen an der schwedischen Küste. Felsen, welche ehedem unter oder nahe an der Meeresoberfläche sich befanden, ragen jetzt hoch über dieselbe hervor. Bereits im Art. Geologie *) ist darauf hingewiesen, daß hier eine allmälige Hebung des Landes durch vulkanische Kräfte, aber kein Sinken des Meeresniveaus vorliegt. Hier wollen wir nur noch aufnehmen, daß nach Playfair **) auch eine Erhöhung der schottischen Küste unverkennbar ist, und daß nach Reinwardt ***) die Molucken gegenwärtig höher über die Meeresoberfläche hervorragen als früher. Unwahrscheinlich scheint das, allerdings durch Beobachtungen gestützte, Resultat Latrobe's ****), daß der Küstendistrict von Newyork früher einen wenigstens 120 Fuß betragenden höheren Wasserspiegel gehabt habe. Auch Otaheiti wird gewöhnlich hier angeführt, indem daselbst ein jetzt freier Fußsteig an der Küste früher (1767) auch beim niedrigsten Wasserstande unter Wasser war *****), so wie man auch die Koralleninseln nicht vergißt, die über das Meer emporragen, während die Koralien doch nur bis an die Oberfläche bauen. Es scheint am zweckmäßigsten, hier auf A. v. Humboldt zu verweisen †), der selbst ††) aus zuverlässigen Kennzeichen schloß, daß das Meer bei den Inseln St. Barthelemy, St. Martin, St. Thomas u. a. gegen 360 Fuß höher gewesen sei.

Folgt aus dem Vorstehenden noch keine Abnahme des Meeres, da die größer werdende Entfernung des Meeres von der Küste auch eine andere und zwar wahrscheinlichere Erklärung zuläßt, so bleiben andererseits noch die Erscheinungen für die Prüfung übrig, welche für eine Erhebung oder Zunahme des Meeres sprechen könnten.

Nach der Erzählung von Angelo Zendrini †††) wurden auf der venetianischen Insel St. George große Ausgrabungen gemacht, um den Port-Franc anzulegen. Einige Fuß unter dem Meere fand man eingerammte Pfähle nebst einer steinernen Treppe, von welcher 5 Stufen ausgegraben wurden. Nicht weit davon fand man gebrannte Steine mit dem Namen des Verfertigers, und zwar beweisen die Buchstaben ein höheres Alter als das der Römer. Hiernach scheinen die Lagunen schon in den ältesten Zeiten bewohnt, und der Spiegel des Meeres

*) Bd. III. S. 526; vergl. auch Art. Erdbeben. Bd. II. S. 867.
**) Explication sur la Théorie de la Terre de Hutton. p. 355.
***) Pogg. Ann. Bd. II. S. 444.
****) Transact. of the Amer. Phil. Soc. T. VI. Philadelph. 1809; vergl. Monatl. Corresp. Bd. XXVI. S. 241.
*****) v. Zach, Corresp. astron. T. X. p. 266.
†) Kosmos. Bd. I. S. 312 und Anmerkung S. 472 u. 473.
††) Journ. de Phys. T. LXX. p. 129.
†††) Comment. Bonon. T. II. p. 237.

damals niedriger gewesen zu sein. Breislak *) beobachtete in Toscana und Ligurien am Mittelmeere ähnliche Erscheinungen, namentlich bei Neapel. Einige Fußböden des Tempels, welchen Tiberius auf Capräa bauen ließ, stehen gegenwärtig unter Wasser. Gerade in Italien kommen ähnliche Erscheinungen vielfach vor; jedoch scheinen hier vulkanische Kräfte im Spiel gewesen zu sein, wie solches bereits im Art. Geologie **) bei den Säulen des Serapis-Tempels bemerkt worden ist. — In Holland deuten die jährlichen Vergrößerungen einiger Meeresbuchten, namentlich des leidener, des spieringer, des alten und des früheren harlemer Meeres, welche 1531 bis 1591 jährlich 96,5 Morgen, von 1591 bis 1647 jährlich 30 Morgen, von 1647 bis 1687 jährlich 25,2 Morgen, 1687 bis 1740 jährlich 26 Morgen betrugen, auf ein allmäliges Wachsen des Meeresspiegels, wenn man nicht lieber dies als ein gewaltsames Eindringen des Meeres ansehen will. — In der Ostsee hat Catteau-Calleville ***) bemerkbar gemacht, daß die Sandbank, welche bei der Einfahrt in den Hafen von Swinemünde liegt, ehemals eine mit der Insel Usedom zusammenhängende Landzunge war. Kostspielige Ausbesserungen und Anstrengungen zum Schutze der Küste sind heute noch nöthig. Die Insel Ruden ist jetzt sehr klein und von allen Seiten mit Sandbänken und Untiefen umgeben, während sie früher einen ansehnlichen Flächeninhalt einnahm, mehrere große Dörfer und einen Hafen hatte. Im Anfange des 14. Jahrhunderts rissen die Fluthen die Landenge weg, welche Ruden mit der, einen Theil der Insel Rügen ausmachenden, Halbinsel Mönkguth verband, und hierdurch entstand ein beinahe zwei Stunden im Umfange haltender Sumpf, welcher jetzt das Neue Tief heißt. Auch auf der Insel Zingst und der Halbinsel Darß, auf der Grenze zwischen Pommern und Mecklenburg, haben ähnliche Veränderungen scheinbar durch das Anwachsen des Meeres stattgehabt. — Das indische Meer scheint gleichfalls an einzelnen Punkten vorgerückt zu sein. An den Küsten von Hindostan stehen mehrere Pagoden aus dem Alterthume jetzt unter Wasser. Die Insel Ceylon soll nach einer unter den Urbewohnern derselben erhaltenen Sage einst durch einen Meeresbruch vom festen Lande abgerissen worden sein; eben so die Insel Sumatra von Malacca. — Für eine Zunahme des atlantischen Meeres an den östlichen Küsten von Amerika hat man mehrfache Beweise aufgestellt. In den Vereinigten Staaten am Vorgebirge May beim Ausflusse des Delaware befindet sich, um wenigstens einen Beleg beizubringen, ein Haus, an dessen Wänden folgende Bemerkungen verzeichnet sind: Im Jahre 1804 war die Entfernung des Meeres vom Hause 334 Fuß, 1806 nur noch 324 Fuß, 1807 nur 294 F., 1808 nur 273 F., 1809 nur 267 F., 1811 nur 259 F., 1812 nur 254 F., 1816 nur 225 F., 1817 nur 214 F., 1818 nur 204 F., 1819 nur 188 F., 1820 nur noch 180 Fuß. Das atlantische Meer wäre also an diesem Theile der nordamerikanischen Küste binnen 16 Jahren um 154 Fuß vorgerückt.

Es ließen sich noch eine Menge von Veränderungen aufführen, doch scheint man berechtigt zu sein, aus allen den Schluß zu ziehen, daß im Allgemeinen weder

*) Instit. Geolog. T. I. p. 67.

**) Bd. III. S. 526.

***) Gemälde der Ostsee in physischer, geograph., histor. und merkant. Rücksicht. Uebers. von Weyland. Weimar 1815.

eine Abnahme, noch eine Zunahme des Meeres stattfindet, da die für das Eine oder das Andere beigebrachten Thatsachen sich entweder durch die Wirkung vulkanischer Kräfte (vergl. Art. Geologie), oder durch gewaltsame Zerstörungen durch die andringenden Wasserwogen erklären lassen. An einigen Orten werden Anschwemmungen stattfinden und es wird den Anschein haben, als sei das Meer gesunken; an anderen werden Wegschwemmungen ein scheinbares Sinken des Meeres erzeugen. Die einzige Thatsache, welche für eine Veränderung des Meeresniveaus und zwar für eine Abnahme desselben eine gewisse beweisende Kraft hat, scheint nach unserer Ansicht von den Koralleninseln hergenommen werden zu können, da andernfalls doch bei allen eine Hebung angenommen werden müßte, was bei der großen Anzahl dieser Inseln und ihrer Vertheilung über die verschiedensten Meere eine allgemeine Hebung des Meeresbodens bedingen würde *).

Es handelt sich hier natürlich um den mittleren Stand des Meeresspiegels, da an demselben Orte der Wasserstand unverkennbar Schwankungen unterworfen ist. In dieser Beziehung hat bereits 1806 Schulten **) einen Zusammenhang mit dem Luftdruck in dem Stande der Ostsee nachgewiesen, in der Art, daß der Meeresspiegel steigt, wenn der Luftdruck abnimmt und umgekehrt, und Daussy hat 1836 zu Lorient an der Westküste Frankreichs diesen Zusammenhang bestätigt gefunden. Ist p der Barometerstand und N das Niveau des Meeres, so ergiebt sich nach Letzterem ***)

$$N = 2^m,823 - 15,5\,(p - 0^m,76).$$

Auch Chazalon ****) hat Beobachtungen und theoretische Entwickelungen über die Schwankungen des mittleren Meeresniveaus mitgetheilt; und J. C. Roß *****) hat Beobachtungen angestellt über den Einfluß des Luftdrucks auf das Niveau im Hintergrunde eisbedeckter Buchten. Der Gegenstand erscheint noch keineswegs erschöpft.

Der Meeresspiegel scheint sich, wenn man das Meer von der Küste aus betrachtet, gegen den Horizont zu heben und bergan zu steigen. Es bedarf wohl kaum der Bemerkung, daß dies blos eine Gesichtstäuschung ist.

2) Meerestiefe. Betrachten wir die feste Erdmasse, so erscheint uns dieselbe an ihrer Oberfläche als eine sehr unebene, mit größeren und kleineren Vertiefungen und Erhöhungen versehene Masse. Wo nun auch das Wasser an ihr auftreten mag, immer wird sich dasselbe gemäß seiner beweglichen Natur von den höheren nach den niederen Orten zu begeben suchen und an den tiefstliegenden endlich zu größeren Massen sich ansammeln. Hiernach erscheint der Grund des Meeres als Fortsetzung der festen Erdoberfläche und zwar als der tiefstliegende, dem Mittelpunkte der Erde am nächsten liegende Theil. Schon hieraus können wir schließen, daß auch der Meeresgrund, so wie die Oberfläche des festen Landes mit mannichfaltigen Erhöhungen — gleichsam einzelnen Bergen und ganzen Ge-

---

*) Am wichtigsten in Betreff der Verhältnisse des Korallengebietes auf der Erdoberfläche ist wohl die Arbeit von Ch. Darwin in Geolog. Soc. 1837, Mai 31; Lond. Edinb. phil. Magaz. 1837. T. XI. p. 307—309.

**) Gilbert's Ann. Bd XXXVI. S. 314.

***) Pogg. Ann. Bd. XL. S. 138.

****) Compt. rend. T. XXXIX. p. 111.

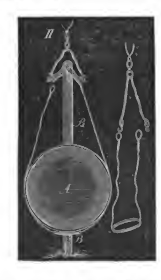
*****) Instit. 1855. p. 109. Phil. Magaz. (4) T. VIII. p. 318.

birgen — ausgestattet sein werde. Wir finden die Bestätigung hiervon in den durch bestimmte Messungen nachgewiesenen verschiedenen Tiefen, welche das Meer an verschiedenen Orten hat, und in den Erhebungen des Meeresgrundes, welche als Inseln über die Oberfläche desselben sich in größerer oder geringerer Ausdehnung erstrecken, oder als Klippen in einzelnen felsigen Hervorragungen emportreten.

Zur Messung der Tiefe des Meeres bedient man sich gewöhnlich des Senkbleies, der Sonde und ähnlicher Instrumente, welche im Allgemeinen Bathometer genannt werden und in dem Artikel dieses Namens (Bd. I. S. 748) beschrieben sind. Wir müssen indessen hier eine Ergänzung dieses Artikels aufnehmen, nämlich Brooke's Apparat zum Sondiren großer Meerestiefen, der sich äußerst zweckmäßig erwiesen hat, um Stoffe vom Grunde der tiefen See emporzubringen *).

In beistehenden Figuren ist A eine Kanonenkugel, die mitten durchbohrt ist, so daß der Stab B hindurchgesteckt werden kann. Fig. I. stellt den Stab und den ganzen Apparat dar vor der Berührung des Grundes; Fig. II. in dem Augen-





blicke, wo er auf den Grund stößt, und veranschaulicht zugleich, wie sich die Kugel löst und wie Stoffe als Proben des Grundes emporgebracht werden, indem sie an ein wenig Seife oder Talg in der Höhlung am unteren Ende der Stange B ankleben. Eine nähere Beschreibung der einzelnen Theile erscheint bei der Einfachheit der ganzen Zusammensetzung nicht nöthig, zumal die detaillirten Abbildungen die klarste Anschauung geben.

In der Nähe der Küsten sind die Tiefmessungen (Peilungen) wegen der

*) Maury, die physische Geographie des Meeres. Deutsch von Böttger. Leipzig 1856. S. 197.

den Schiffen drohenden Gefahren von der allergrößten Wichtigkeit. Auf den Seekarten findet man die Resultate verzeichnet. Was uns hier noch besonders interessirt, das ist die Tiefe des Meeres im sogenannten blauen Wasser.

Eine gewöhnliche Ansicht ist, daß die Tiefe der See den Höhen der Berge ungefähr gleich sei; es fehlt indessen dieser Ansicht jede feste Basis. Durch Versuche ein zuverlässiges Resultat zu gewinnen, hatte große Schwierigkeiten. Am einfachsten scheint es zu sein, eine Kanonenkugel an einem hinreichend langen Faden hinabzulassen und die Länge des Fadens zu bestimmen, sobald die Kugel den Boden des Meeres berührt. Es ist jedoch schwer, den Augenblick dieses Auffallens der Kugel zu bestimmen. Man glaubte, die Leine würde nicht mehr ablaufen, sobald dieser Moment eingetreten sei; indessen sie lief in einem fort in Folge von Strömungen und Gegenströmungen, die im Ocean nicht blos neben, sondern auch über einander vorhanden sind. Auf diese Weise angestellte Messungen bieten mithin durchaus keine Zuverlässigkeit. Sicherer ist die Methode, welche Maury (a. a. O. S. 196) angiebt. Bedient man sich immer einer Schnur von derselben Stärke und Arbeit und eines schweren Körpers (30pfündige Kanonenkugel) von derselben Gestalt und demselben Gewichte, so ergiebt sich ein Gesetz für den Fall des Körpers im Wasser. Es wurden folgende Resultate erhalten:

2m 21s als mittlere Fallzeit von 400 bis 500 Faden
3 = 26 = = = = = 1000 = 1100 =
4 = 29 = = = = = 1800 = 1900 =

Es folgt hieraus, daß der einsinkende Körper die ersten 100 Faden am schnellsten (etwa in $1\frac{1}{2}$ Minuten) zurücklegt, daß aber die Zeiten von 100 zu 100 Faden nicht gleichmäßig abnehmen, sondern nach und nach immer kleinere Differenzen bilden. Man kann jedoch nun angeben, wann die Kugel die Schnur nach sich zu ziehen aufhört, und von welchem Moment an die letztere nur in Folge der Strömung und des Treibens weiter abgewickelt wird; denn Strömungen können sie von 100 zu 100 Faden nur gleichmäßig und eher noch durch das zunehmende Gewicht der abgewickelten Schnur mit etwas beschleunigter Geschwindigkeit abwickeln, während sie die im Falle fortwährend verzögerte Kugel umgekehrt immer langsamer nach sich zieht.

Es erklärt sich aus dem Vorstehenden, daß man in vielen Fällen, weil man das letztere Gesetz nicht beachtete, in ganz bedeutenden Tiefen noch keinen festen Boden gefunden zu haben glaubte. So führte Maury (a. a. O. S. 194) Messungen dieser Art von 34000, 39000, 46000 und 50000 Fuß Tiefe an. Nach denselben befinden sich die größten Tiefen, in welchen der Seegrund mit dem Senkblei erreicht worden ist, im atlantischen Ocean und gehen nicht über 25000 F. hinaus. Die tiefste Region scheint zwischen dem 35 und 40° n. Br. und zwar unmittelbar südlich von den großen Brücken von Neufundland zu liegen. Capitain Ringgold will jedoch im stillen Meere bei 8000 Faden, also 48000 Fuß, Grund gefunden haben, desgleichen Capitain Denham*) in dem südlichen atlantischen Ocean unter 36° 49′ s. Br. und 37° 6′ östl. L. bei 43467 Fuß oder 13643 Meter, und James Roß fand die größte Tiefe gleich 8412 Meter. Hätte die Erde kein Wasser wie der Mond, so würde der Hintschinginga auf dem

*) Instit. 1853. p. 53. Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 493.

Himalaya, der sich 27359,63 Fuß über den Meeresspiegel erhebt, eine Höhe von 70827 Fuß über dem von Capitain Denham gefundenen Punkte der Erdrinde haben.

Die ersten Messungen von wissenschaftlichem Werthe über die Meerestiefe sind die von Maury, der dieselben im Auftrage des nordamerikanischen Congresses ausführte. Auf einer Karte (a. a. O. Taf. IX.) hat er seine Resultate zusammengestellt, die sich auf den nördlichen Theil des atlantischen Oceans bis zu 10° s. Br. beziehen. Wir erwähnen hier nur, daß der mexikanische Meerbusen höchstens eine Tiefe von einer engl. Meile = 5280 Fuß hat, — 30 geogr. Meilen nördlich vom Nordrande der Halbinsel Yucatan wurde mit 104 Faden Grund gefunden — daß das caraibische Meer tiefer ist, namentlich bei der Landenge von Panama über 2000 Faden Tiefe hat, ferner daß sich auf dem Meeresgrunde zwischen Cap Race in Neufundland und Cap Clear in Irland das neuerdings sogenannte Telegraphen-Plateau befindet, auf welchem die Tiefe wahrscheinlich nirgends mehr als 10000 Fuß beträgt.

Die Binnenmeere haben in der Regel eine weit geringere Tiefe, als der offene Ocean. Nach Zeune *) würde man trocknen Fußes von der pommerschen Küste nach Schweden und Finnland gelangen können, wenn der Wasserstand sich um 300 Fuß verringerte. Die gewöhnliche Tiefe in der Mitte der Ostsee ist 30 bis 40 Faden, und nur zwischen der Insel Gotland und Windau vertieft sich der Boden auf 140 Faden; im bothnischen Meerbusen sind die tiefsten Stellen gegen die Mündung 67 bis 100 Faden; endlich im finnischen Meerbusen, ebenfalls an der Mündung, 70 Faden.

Die Nordsee hat ganz die Natur eines Meerbusens, im Hintergrunde — in der Straße von Calais — am seichtesten und an der Mündung — nach Norden — immer tiefer werdend. Die Straße von Calais hat an der tiefsten Stelle nur 26 Faden und erscheint wie eine Seebrücke zwischen England und Frankreich. Die vielen Bänke der Nordsee, unter denen die Doggersbank und die Langbank sich auszeichnen, deuten schon auf einen nicht tiefen Seeboden, welcher jedoch nach Westen zwischen der Bank und Großbritannien sich mehr einsenkt, als gegen Osten zwischen derselben Bank und Dänemark. So ist die größte Tiefe zwischen Tynemouth bei Newcastle und der Bank 45 Faden, dagegen zwischen der Bank und der dänischen Insel Sylt nur 28 Faden, während sie in der Mitte der Bank selbst nur 17 Faden beträgt. Bei einem noch nördlicheren Durchschnitte zwischen Edinburgh und der dänischen Insel Holmland ist die größte Tiefe ebenfalls an der britischen Seite, nämlich 50 Faden, dagegen an der dänischen nur 40 und auf der Bank selbst 30. Weiter nördlich senkt sich der Boden des Meeres tiefer, wendet sich aber nun nach der Ostseite zu der steilen Küste Norwegens hin. Zwischen dem Vorgebirge Tarbatneß bei Inverneß in Nordschottland und dem Kattegat ist die Tiefe in der Mitte 50 Faden, etwas gen Westen 60 und gen Osten 90, und zwischen Lerwick an dem Sunde der Shetländischen Insel Brassa und der Stadt Bergen in Norwegen beträgt die Tiefe in der Mitte 90, gegen Westen nur 80, gegen Osten aber bis 140 Faden.

Auch im Englischen Kanal wie in der Nordsee nimmt die Tiefe mit der Entfernung von der Straße von Calais zu, so daß bis 7° W. von Paris in

*) Berghaus, allgem. Länder- und Völkerkunde. 1837. Bd. I. S. 408.

der Linie von Isle de Bas, in der Bretagne, nach der Klippe von Eddystone sie nirgend über 50 Faden beträgt und erst westlicher in der Mitte zwischen der Südwestspitze von Irland und der Nordwestspitze von Spanien, 12° W. v. Paris, bis 100 Faden abfällt. Aber ungefähr in 14° W. nimmt die Tiefe plötzlich zu, so daß unter 51° n. Br. im Westen von Süd-Irland bei 333 Faden, und im 61° Br. im Westen der südlichen Faröer bei 222 Faden kein Grund zu finden war.

Der Irische Kanal ist weit tiefer als der Englische Kanal. An seiner Südseite zwischen Werford in Irland und Pembroke in Wales beträgt die Tiefe in der Mitte 50 bis 70 Faden; etwas nördlicher, wo sich das Meer erweitert, wird es flacher, zwischen 40 und 60, erreicht aber zwischen Dublin und Anglesey eine Tiefe von 60 bis 80 Faden. Im Osten der Insel Man ist die größte Tiefe nur 25 Faden, im Westen dagegen bis 55. An der engsten Stelle jenes Meeres zwischen der Grafschaft Antrim in Irland und der Grafschaft Wigton in Schottland erreicht die Tiefe bis 100 Faden, nördlich davon nimmt sie ab bis 60 und wächst nur nordwestlich zwischen der nördlichen Küste von Irland und der schottischen Insel Ila auf einer kleinen Strecke bis zu 90; von da westlich wird es wieder etwas flacher.

Die Meere im Süden Europas sind tiefer, als die im Norden. In den ionischen Inseln hat man bei 300, im Südosten von Sardinien beim Vorgebirge Carbonara bei 500 und im Nordwesten dieser Insel unfern des Vorgebirges Asinara bei 800 Faden keinen Grund gehabt. Unfern Gibraltar im Süden der Sierra Nevada hat man nach de la Beche bei 980 Faden Sand- und Muschelgrund gefunden. Der westliche Theil des Mittelmeeres scheint tiefer zu sein als der östliche; beide Becken werden durch eine Seebrücke von einander geschieden. Dieser Gürtel heißt Skerki und geht vom Vorgebirge Trapani in Sicilien erst westwärts, dann südwärts bis zum Vorgebirge Bon bei Tunis. Die Tiefe dieser Seeschwelle wechselt von 7 bis 90 Faden und fällt nach dem westlichen Becken tiefer als nach dem östlichen; wenn nach jenem hin bei 100 bis 200 Faden noch kein Grund gefunden wurde, ist schon bei 80 und 90 Faden nach dem östlichen Becken hin Grund erreicht worden. Mit jener Seebrücke hängt in der Nähe Siciliens die Adventure-Bank zusammen, welche sich südlich bis zur Insel Pantellaria hinzieht. Die Südspitze dieser Bank hat an einer Stelle 72 bis 76 Faden Tiefe, wo gleich am südlichen Abfall der Bank bei 375 noch kein Grund gefunden worden ist. Die größte Tiefe der Meerenge von Messina ist unweit dieser Stadt 97 Faden.

Das schwarze Meer hat nach den unzuverlässigen russischen Seekarten in der Nähe von Sebastopol eine Tiefe bis 548 Faden, im Westen des Kaukasus bei Anapa bis 420 Faden. An der Nordküste Kleinasiens hat Gauttier bei 200 Faden noch keinen Grund gefunden. Zwischen den Donaumündungen und der Westseite der Krimm nimmt die Tiefe ab — Telegraph von Balaklava nach Varna; — östlich von den Donaumündungen, 10 geogr. Meilen vom Lande, ist die Tiefe 52 und eben so weit südlich von Odessa beträgt sie nur 30 Faden.

Das Asowsche Meer hat an der Mündung der Meerenge bei Jenikale bis 39 Faden Tiefe, die sich in der Mitte bis auf 47 vermehrt; aber in der Bucht nach Asow bis auf 4 Faden und bei Taganrog bis auf 3 Faden sich verflacht.

Im rothen Meere und im persischen Meerbusen beträgt die größte Tiefe 50 Faden. Das süd-chinesische Meer zwischen der südlichen Küste von Cochinchina und Cambodja einerseits und den Sunda-Inseln andererseits ist so flach, daß wohl nirgends 50 Faden Tiefe erreicht wird. Im nord-chinesischen Meere findet man in einem Abstande von 30 geogr. Meilen vom nächsten Lande bei 68 und 84 Faden Seegrund.

Wir bemerken hier noch, daß man eine Erhöhung des Meeresbodens, welche seichte Stellen (Untiefen) verursacht, eine Bank nennt. Besteht der Grund der Bank aus Sand, so heißt sie eine Sandbank. Von dieser stehen einige fest und haben also wahrscheinlich ein Gerippe von festem Gestein, andere dagegen sind veränderlich, werden daher vom Meere angeschwemmt und weggeschwemmt. Sandbänke, die sich längs den Küsten eines Landes über die Meeresfläche hervorragend hinziehen, heißen Dünen, namentlich an den Küsten Großbritanniens und der Niederlande. Aehnlich sind die Nehrungen an der preuß. Küste. Aus diesen Dünen bildet sich allmälig festes Land, wenn das Meer mit Anschwemmungen fortfährt, und daher kommt es, daß — wie bereits oben angeführt ist — jetzt viele Städte, welche früher in der Nähe des Meeres sich befanden, beträchtlich weit von demselben entfernt sind. — Die Korallenbänke und Korallenfelsen sitzen auf dem Meeresgrunde fest und wachsen von diesem empor. Auch mögen sich die Korallen an schon vorhandenen Felsen ansetzen. Sie erheben sich nur bis an die Oberfläche des Meeres und breiten sich dann seitwärts aus. Oft bilden sich aus diesen Korallenbänken förmliche Inseln, auf denen mit der Zeit durch die Verwitterung und Verwesung mineralischer, vegetabilischer und animalischer Theile fruchtbarer Boden entsteht. — Die Austernbänke sind Felsen, an denen sich Austern angesetzt haben. — Riffe heißen an der Küste sich hinziehende Reihen von Felsen und Klippen. In der Ostsee fassen die Klippen einen Theil der schwedischen Küste ein, und heißen hier Scheeren.

3) Meerwasser (Salzgehalt, Bestandtheile, specifisches Gewicht, Gefrieren, Temperatur, Zusammendrückbarkeit, Farbe, Durchsichtigkeit, Leuchten.) Von den Gewässern der Landseen und der Flüsse unterscheidet sich das Meerwasser durch seinen besonderen Geschmack, welcher ein Zeichen eigenthümlicher chemischer Mischung desselben ist. Ein wesentlicher Bestandtheil ist das Kochsalz (Chlornatrium). Da bei Erwärmung das Wasser verdampft, und zwar um so stärker, je größer die Erhitzung ist, so sollte man vermuthen, daß in der heißen Zone das Meer wegen der fortwährend stattfindenden starken Verdunstung einen stärkeren Salzgehalt hat, als weiter gegen die Pole zu. Der Einfluß der stärkeren Erwärmung in den Tropen wird aber durch den der Kälte in den Polargegenden aufgehoben, weil beim Gefrieren des Meerwassers das Salz ausgeschieden wird *), und überdies durch die Strömungen und sonstigen ununterbrochenen Bewegungen des Meeres eine fortwährende Vermischung und Ausgleichung stattfindet. Dennoch sind die einzelnen Meere, namentlich die mittelländischen an Salzgehalt verschieden, eine Erscheinung, die sich aus localen Ursachen erklären läßt. So sammelte Morris Proben von Wasser aus dem rothen Meere auf dem ganzen Wege von Suez bis zur Straße

*) Art. Eis. Bd. II. S. 609 und 610.

Bab-el-Mandeb und die Untersuchung des Dr. Giraud *) ergab folgende Resultate:

	Breitegrade	Längengrade	Spec. Gewicht	Salzgehalt pro Mille
Nr. 1. bei Suez . . .			1,027	41,0
„ 2. im Golf v. Suez .	27,49	33,44	26	40,0
„ 3. im rothen Meere .	24,29	36,00	24	39,2
„ 4. ebenda. . . .	20,55	38,18	26	40,5
„ 5. „	20,43	40,03	24	39,8
„ 6. „	14,34	42,43	24	39,9
„ 7. „	12,39	44,45	23	39,2

Das Wasser des rothen Meeres an der Oberfläche ist also immer salziger und specifisch schwerer, je weiter es von der Mündung entfernt ist, offenbar weil auf dem Wege von der Straße Bab-el-Mandeb bis zum Golf von Suez ein großer Theil des aus dem indischen Oceane eindringenden Wassers verdunstet (s. S. 980).

Von dem Mittelmeere ist bereits oben bemerkt, daß die einmündenden Ströme den Verlust an verdampftem Wasser nicht ganz ersetzen. Es müßte folglich das Bett dieses Meeres schon längst eine feste Salzmasse sein, wenn nicht in der Straße von Gibraltar eine untere Strömung, auf die wir noch bei den Meeresströmungen näher eingehen werden, das von dem atlantischen Oceane hineingeführte Salz diesem zurückgäbe und so das Gleichgewicht im Salzgehalte herbeiführte. Ein ähnliches Verhältniß findet bei dem rothen Meere statt, indem eine untere Strömung alles Salz, welches durch die obere in das Meer gelangt, eben so schnell wieder entfernt. Wäre dies nicht der Fall, so müßte dies Meer in 3000 Jahren zu einer festen Salzmasse geworden sein.

Das schwarze Meer hat einen schwächeren Salzgeschmack als der offene Ocean; eben so ist es mit der Ostsee, der Nordsee, ochozkischen Meere, dem chinesischen Meere. Der Einfluß der Küsten und des von ihnen einströmenden Wassers ist natürlich überall sehr merkbar. Deshalb findet man nicht nur an den Mündungen großer Flüsse, z. B. an dem Rio de la Plata, sondern überhaupt in der Nähe der Küste in der Regel einen geringeren Salzgehalt, bei den Flußmündungen oft meilenweit in das Meer hinein noch süßes Wasser. Auch macht die Zeit der Ebbe und Fluth an den Küsten einen Unterschied.

Im Allgemeinen beträgt der mittlere Salzgehalt $3^1/_2$ Procent. Ueber das Verhältniß an der Oberfläche und in der Tiefe sind die Resultate noch sehr verschieden. Nach einigen Angaben **) findet kein Unterschied statt, nach anderen ist der Salzgehalt im Allgemeinen unten größer ***). In dem atlantischen Oceane soll der Salzgehalt im Westen größer sein als im Osten; desgleichen größer als in der Südsee ****).

*) Verhandlungen der geogr. Gesellschaft zu Bombay. IX. Mai 1849 bis Aug. 1850.
**) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 108.
***) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 461.
****) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 122 und 130; S. 129.

Schwieriger als die Bestimmung des Salzgehaltes, auf welchen man im Allgemeinen aus dem specifischen Gewichte schließt, ist die der Bestandtheile des Meerwassers im Speciellen. Wir nehmen hier einige Resultate auf, die zugleich als Belege für das Vorhergehende und Folgende mit dienen mögen.

v. Bonsdorff *) findet in 100 Theilen Meerwasser 3,896 Theile salzige Bestandtheile und 0,107 Th. Gyps mit Krystallwasser oder 0,085 Th. im wasserfreien Zustande.

Versuche mit einem von Biot **) angegebenen Apparate, um Wasser mit der in demselben enthaltenen Luft aus der Tiefe des Meeres zu schöpfen, haben folgende Resultate geliefert ***).

Zeit und Ort	Tiefe. Faden	Dichte bei 8 bis 10°	Salz in 100 Wasser	Gas in 100 Volum. Wasser bei 0° und 760mm	Zusammensetzung des Gases in 100 Vol.		
					Sauerstoff	Stickstoff	Kohlensäure (?)
1836. Aug. 30. Südsee	0	1,02594	3,429	2,09	6,16	83,33	10,51
11° 8′ N. 108° 50′ W.	70	1,02702	3,528	2,23	10,09	71,05	18,06
1837. März 19. Golf v. Bengalen	0	1,02545	3,218	1,98	5,53	80,50	13,97
11° 43′ N. 87° 18′ O.	200	1,02663	3,491	3,04	3,29	38,56	58,15
1837. Mai 10. Golf v. Bengalen	0	1,02611	3,378	1,91	6,34	80,34	13,32
18° 0′ N. 85° 32′ O.	300	1,02586	3,484	2,43	5,72	64,15	30,13
1837. Juli 31. Indischer Ocean	0	1,02577	3,669	1,85	9,84	77,70	12,46
24° 5′ S. 52° 0′ O.	450	1,02739	3,519	2,75	9,85	55,23	34,92
1837. Aug. 24. Atlant. Ocean	0	ging verloren	—	—	—	—	—
30° 40′ S. 11° 47′ O.	400	1,02708	3,575	2,04	4,17	67,01	28,82

Hiernach nimmt die Dichte mit der Tiefe zu, eben so der Salzgehalt und Luftgehalt. Der Kohlensäuregehalt, von dem dasselbe zu gelten scheint, ist — wie überhaupt wohl die Gasanalyse — zweifelhaft, indem die Frage aufgeworfen werden kann, ob die Kohlensäure im Wasser fertig gebildet war, oder ob sie von der Zersetzung durchsichtiger Theilchen herrührte. Im letzteren Falle würde die Luft aus der Tiefe bedeutend mehr Sauerstoff enthalten haben, als die an der Oberfläche.

Gay-Lussac und Despretz ****) erhielten folgende Resultate:

Breite	Länge	Spec. Gewicht	Salzgehalt	Breite	Länge	Spec. Gewicht	Salzgehalt
Calais		1,0278	3,48	0° 0′ S.	23° 0′	1,0283	3,67
35° N.	17° W.	1,0290	3,67	5 2′,2	22 36	1,0289	3,68
31 50′	23° 53′	1,0294	3,63	8 1	5 16	1,0286	3,70
29 4	25 1		3,66	12 59	26 56	1,0294	3,76
21 0	28 25	1,0288	3,75	15 3	24 8	1,0284	3,57
9 59	19 50	1,0272	3,48	17 1	28 4	1,0291	3,71
6 0	19 55	1,0278	3,77	20 21	37 5	1,0297	3,75
3 2	21 20	1,0275	3,57	23 55	43 4	1,0293	3,61

*) Pogg. Ann. Bd. XL. S. 133. **) Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 461.
***) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 581.
****) Ann. de Chim. et de Phys. T. VI. p. 428.

Hieraus schließt Gay-Lussac, daß der Salzgehalt bei Calais sein Minimum erreicht habe, daß er in einer Breite von 35° bis 32° N. zunehme, gegen den Aequator hin aber abnehme und in der südlichen Hemisphäre wieder steige.

Es herrscht jedenfalls in Betreff des Salzgehaltes des Meereswassers noch eine gewisse Unsicherheit. Dasselbe gilt von der Dichte. A. v. Humboldt *) findet für eine Temperaturdifferenz von 15 bis 20° C. wenig oder gar keinen Unterschied hinsichtlich des specifischen Gewichtes. Marcet **) behauptet, daß die Dichte südlich vom Aequator größer sei, als nördlich von demselben. Nach Lenz ***) hat an einigen Stellen das Wasser an der Oberfläche, an anderen in großer Tiefe das größte specifische Gewicht. Mulder ****) findet folgende Resultate:

Breite	Länge	Spec. Gewicht	Breite	Länge	Spec. Gewicht
S. 20° 41′	O. 86° 30′	1,02705	N. 0° 39′	W. 22° 42′	1,02759
23 46	80 3	1,02711	23 44	37 53	1,02891
35 10	28 7	1,02814	40 54	23 38	1,02724
35 42	22 17	1,02750	46 2	19 30	1,03750
35 0	19 50	1,02718	49 6	5 54	1,02711
23 21	3 32	1,02801	50 25	1 0	1,02711
15 55	W. 5 45	1,02827	Nordsee		1,02551

Das Resultat von der Nordsee spricht, wie es scheint, für den Einfluß der in dieselbe mündenden Flüsse.

Durch eine zweite Untersuchung erhielt Mulder *****) Folgendes:

Breite	Länge Greenwich	Spec. Gewicht	Breite	Länge Greenwich	Spec. Gewicht
S. 20° 49′	O. 82° 58′	1,0276	N. 23° 19′	W. 38° 57′	1,0282
23 51	77 43	1,0278	40 40	27 34	1,0276
34 0	26 28	1,0277	46 15	17 20	1,0277
35 55	20 59	1,0273	48 15	10 22	1,0273
23 21	W. 0 45	1,0273	49 24	6 0	1,0269
15 55	5 45	1,0277	50 27	0 48	1,0265
N. 0 57	21 4	1,0274	Nordsee		1,0237

Nach einer Analyse von A. und H. Strecker †) enthielt das Meerwasser eines Fjords bei Sandesjord, dessen spec. Gew. 1,0114 war, folgende Bestandtheile:

Chlornatrium	10,9115	Schwefels. Kali	0,3908	Kohlens. Eisenoxydul	0,0194
Chlormagnesium	1,4934	„ Kalk	0,6449	Thonerde	0,0033
Brommagnesium	0,0338	„ Magnesia	0,4812	Kieselerde	0,0134

in Summa 13,9917 Theile.

*) Relat. historique. T. I. p. 74.
**) Phil. Transact. 1822. Ann. de Chim. et de Phys. T. XII. p. 295.
***) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 73. Bibl. univ. T. XLVI. p. 358.
****) Natuur en Scheikundig Archief. 1835. 2. Stuck. Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 512.
*****) Pogg. Ann. Bd. XL. S. 498.
†) Ann. Ch. Pharm. T. XCV. p. 177. Das chem. Labor. d. Univers. Christiania 1854. S. 67.

Nach Vogel *) enthalten 1000 Theile Meerwasser folgende feste Bestandtheile:

	Atlantisches Meer	Mittelländ. Meer	An der engl. Küste
Chlornatrium	25,10	25,10	24,90
Salzsaure Bittererde . . .	3,50	5,25	3,54
Schwefelsaure Bittererde . .	5,78	6,25	0,81
Schwefelsaurer Kalk . . .	0,15	0,15	0,97
Kohlens. Kalk und Bittererde .	0,20	0,15	—
Schwefels. Natron	—	—	1,03

Nach Webster **) enthält das Seewasser an der nordamerikanischen Küste in einer Pinte:

Schwefelsäure 16,1; Kalk 2,4; Magnesia 13,6; Natron 95; Salzsäure 96,8 Grains und eine Spur Eisen.

Nach Balard ***) enthält das Seewasser auch etwas Brom.

Daraus, daß in der Kruste eines mit Meerwasser gespeisten Dampfkessels von Daubrée ****) ein Millionstel Arsenik gefunden wurde, könnte man auf einen Arsenikgehalt des Meerwassers schließen; eben so ist in dem Meerwasser Silber, Blei und Kupfer nachgewiesen worden *****).

Wegen des Verhaltens des Meerwassers beim Gefrieren ist zu vergleichen Art. Eis Bd. II. S. 609 ff; wegen der Temperatur des Meeres Art. Erde Bd. II. S. 922 ff. In Betreff der Zusammendrückbarkeit hat Aimé †) Versuche angestellt und gefunden, daß dieselbe bei 12°,6 C. für eine Atmosphäre = 0,0000413 ist, während sie für süßes Wasser 0,0000502 beträgt.

Die Farbe des Meerwassers wird sehr verschieden geschildert. Scoresby vergleicht die allgemeine Farbe des Polarmeeres mit Ultramarin; der Franzose Costaz (Cotace?) die des mittelländischen Meeres mit einer vollkommen durchsichtigen Auflösung des schönsten Indigo; Capitain Tuckey bezeichnet die Wellen des atlantischen Meeres in den Aequinoctialgegenden als glänzendes Azur. Wir fügen hier gleich einige Angaben bei über die Farbe des süßen Wassers. H. Davy giebt lichtblau an als die Farbe, welche das aus geschmolzenem Schnee und Eis entstandene Wasser zurückspiegelt; Hugi sagt über die Alpengletscher, daß die Farbe kleiner einzelner Stücke eines Gletschers entschieden weiß und klar sei, daß sie aber bei Betrachtung einer größeren Masse blau werde und zwar stufenweis immer blauer, je mehr die Masse an Umfang zunehme, bis zuletzt das tiefste Himmelblau auftrete.

*) Ann. de Chim. T. VI. p. 63. Schweigg. Journ. Bd. VIII. S. 337.
**) Boston. Journ. 1824. Jun. p. 96.
***) Pogg. Ann Bd. VIII. S. 114.
****) Compt. rend. T. XXXII. p. 827. Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 302.
*****) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 480.
†) Pogg. Ann. Ergzb. II. (LXXII. b) S. 240. Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. VIII. p. 257.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel mehr, daß dem Meerwasser wirklich eine eigenthümliche Farbe zukommt, d. h. daß es das auffallende Licht in einem bestimmten Verhältnisse reflectirt (vergl. Art. Farbe Bd. III. S. 40), wenn gleich diese Farbe erst beim Anblicke großer Massen, also vorzugsweise im offenen Meere hervortritt. A. v. Humboldt spricht sich ebenfalls dafür aus und fand, daß man ein sehr schönes Ultramarin erblickt, wenn man, um die seitwärts auffallenden Sonnenstrahlen abzuhalten, das Meer durch eine enge Oeffnung oder eine Röhre fernhin betrachtet. Nach demselben ist das Meer der Tropen von einem stärkeren und reineren Blau, als die Meere in hohen Breiten, vielleicht von dem im Meere sich spiegelnden Himmel herrührend, wiewohl er bemerkt, daß der Himmel nicht immer einen Einfluß auf die Farbe ausübt, indem sie sich bei ganz heiterem Himmel und ohne daß man eine Veränderung in der Atmosphäre bebemerke, bedeutend ändere. Mitten in dem weiten Becken des tropischen Weltmeeres gehe das Wasser vom Indigblau ins dunkelste Grün und von diesem ins Schiefergrün über, ohne daß man diese Veränderung dem Blau des Himmelsgewölbes oder der Farbe der Wolken zuschreiben könne. Dagegen bleibe das Meer oft blau, wenn auch bei schönem Wetter mehr als $^{4}/_{5}$ des Himmels mit leichten, weißen und zerstreuten Wolken bedeckt seien. Es hat hierauf Einfluß, ob die Oberfläche des Meeres ruhig oder mehr oder weniger bewegt ist. Die ruhige Oberfläche erblickt man blau, und so ist auch das Wasser der Ostsee bei hellem ruhigen Wetter entschieden hellblau, auf der bewegten Oberfläche zeigt sich die grünliche (meergrüne) Färbung. Humboldt äußert sich über die wechselnde Farbe des Meeres dahin: die Wellen, beweglichen und geneigten Spiegeln ähnlich, werfen fortschreitend die Wolken und die Tinten der Luft vom Zenith bis zum Horizont zurück. Die Bewegung der Oberfläche des Wassers verändert die Menge des Lichtes, welches gegen die unteren Schichten dringt, und man sieht ein, daß diese schnelleren Veränderungen des Durchgangs der Lichtstrahlen, die Farbe des Oceans verändern müssen, wenn sie sich mit anderen uns noch unbekannten Ursachen vereinigen. Arago *) spricht sich entschieden für eine bestimmte Farbe des Meeres aus, und bezeichnet dieselbe als mehr oder weniger dunkles Himmelblau. Er sagt: die reflectirte Farbe des Wassers ist blau, die durchgelassene, wie einige glauben, grün. Nun erklärt er das grüne Aussehen des aufgeregten Meeres dadurch, daß die Wellen wie dreiseitige Prismen wirken; ein Theil des von der zweiten Welle reflectirten Lichtes durchdringe die erstere, dem Beobachter auf dem Verdeck eines Schiffes nähere, werde da von oben nach unten gebrochen, und so erhalte der Beobachter durchgelassenes, also gegrüntes Licht.

Bei ruhigem, durchsichtigem Wasser wird die Farbe häufig von der Beschaffenheit des Grundes bestimmt. Arago hebt hervor, daß ein gelber, wenig reflectirender Sandboden eine grüne Farbe hervorbringt, weil das vom Boden reflectirte Licht mit dem natürlichen Lichte des Wassers gemischt ins Auge gelangt. In der Bai von Loango ist das Wasser stark roth, weil nach Tuckey der Meeresboden sehr roth ist. Bei Vera Cruz im mexikanischen Meerbusen hat das Meer eine weiße Farbe von den Kalkfelsen auf seinem Grunde, und bei den maledivischen

*) Compt. rend. T. VII. p. 219. Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 468.

Inseln soll das Meer eine dunkle Farbe haben von den Steinkohlenbänken (?) auf seinem Grunde.

Oft treten eigenthümliche Färbungen auf, die bedingt sind durch besondere Vorkommnisse in dem Wasser, und da man diese in vielen Fällen hat nachweisen können, so ist auch in anderen Fällen, wo keine constante Färbung auftrat, ein Gleiches anzunehmen.

Als Des Vages auf der Höhe von Spitzbergen im nördlichen Eismeere war, fand er das Wasser in verschiedenen Gegenden von Strecke zu Strecke schwarz, an Stellen, wo man keinen Grund entdeckte. Er erfuhr später, daß diese Farbe nur in den Monaten April und Mai wahrzunehmen sei, und daß die nämlichen Stellen im Juli und August weiß erscheinen. Thomas Smith fand 1768 auf seiner Reise nach Constantinopel das Wasser in einer gewissen Gegend himmelblau, und wenn die Sonne darauf schien, purpurroth. Bladh sah am 27. Juni 1772 bei Sumatra im ostindischen Meere das Wasser mit rothen Streifen und Flecken bedeckt. Das ausgeschöpfte Wasser im Glase war zwar hell, enthielt aber eine Menge lichtgrauen Schlammes, welcher aus feinen Fäden bestand, und getrocknet schön cochenillroth wurde. Bladh vermuthete, daß dieser Schlamm dem Wasser während der Fluth beigemischt worden, wo es die Küsten bis zu einer ansehnlichen Höhe bedeckte. Eine ähnliche Erscheinung beobachtete der nämliche Seefahrer auch in der Nähe der Küsten von China. Das Wasser war weniger roth und jener Pflanzenschlamm dünner darauf gesäet, aber feiner zertheilt. Auch später bei Madagascar und dem Vorgebirge der guten Hoffnung zeigten sich dergleichen rothe Stellen und Streifen des Meeres, welche gleichfalls von Pflanzentheilchen herzurühren schienen. — Sehr merkwürdig war eine Erscheinung, welche James Prior am 4. April 1811 in dem indischen Ocean zwischen Madagascar und den Sechellen beobachtete. „Abends gegen 8 Uhr" — sagt er — „wurde, so weit das Auge reichen konnte, das Meer fast plötzlich wie Milch, oder besser einer dicken Auflösung von Kalkwasser ähnlich. Die Oberfläche war ganz spiegelglatt; auch fand sich dabei nicht die geringste Spur jener leuchtenden oder phosphorischen Erscheinung, die man oft zur Nachtzeit, wenn die See in Bewegung war, bemerkt hat. Dies dauerte mehrere Stunden fort; der Himmel war um die Zeit äußerst heiter, und bei der Stille des Abends mußte dieser Vorfall eine unbeschreibliche Wirkung haben. Zugleich bemerke ich, daß nicht die geringste Eigenheit im Wasser, welches wir häufig heraufzogen und untersuchten, wahrzunehmen war." James Prior bemerkte diese nämliche Erscheinung einige Monate später, am 7. August, in der Nachbarschaft der Nordwestküste von Neuholland. Hier zeigte sich indeß etwas, das auf die Spur einer Erklärung des Räthsels leiten konnte. Das Wasser, welches man auf das Schiff zog, enthielt eine kleine, kaum bemerkbare Menge eines feinen faserigen Stoffes, der indessen völlig durchsichtig war. Prior bemerkt nun freilich, daß man dies überall sehen könne, wo viel Meergras wächst, vermuthet aber dennoch, daß eher dies, als irgend eine Eigenthümlichkeit der Atmosphäre, der Grund jener Erscheinung sein möge: denn ungeachtet das Wetter dasselbe geblieben, habe sich doch die milchigte Farbe weiterhin nicht wieder eingestellt, und als Beweis, wie ungewöhnlich diese Erscheinung sei, führt er den Umstand an, daß seine Leute (also englische Seefahrer!) darüber in große Besorgniß gerathen seien. — Zuweilen ist eine unzählbare Menge von einer gewissen Gattung kleiner Seekrebse im Stande, der Ober-

fläche des Meeres ein rothes oder auch braunes Ansehen zu geben. Man hat dergleichen namentlich an den Küsten von Brasilien bemerkt, z. B. Genet im Jahre 1700 und neuerlich Otto v. Kotzebue, am 7. December 1815. „Wir bemerkten" — sagt dieser — „auf der Oberfläche der See einen schlangenförmigen Weg von dunkelbrauner Farbe, ungefähr ein Paar Faden breit, der sich so weit erstreckte, als das Auge reichte. Im ersten Augenblicke hielt ich diese Erscheinung für eine Untiefe; doch bei der Untersuchung fanden wir, daß dieser Weg durch eine unzählige Menge kleiner Krebse und den Samen einer Pflanze gebildet war, die sich, wie unsere Naturforscher behaupteten, auf dem Grunde des Meeres erzeugt." Eben so sah auch Byron, auf seiner Fahrt von Rio Janeiro nach Port Désiré, am 14. Nov. 1764 die See an einer Stelle so roth wie Blut, und die Ursache war gleichfalls eine unzählige Menge kleiner krebsähnlicher Schaalthiere. Auch Dampier schreibt die rothe Farbe des Meeres zwischen Cap Corrientes und den Sebaldsinseln, an der Südspitze von Amerika, kleinen Krebsen zu. Tremaree sah an den norwegischen Küsten das Meer von kleinen Fischen roth gefärbt. — Eine ähnliche Erscheinung wie Prior beobachtete Tuckey unfern Cap Palmes an der Küste von Guinea, indem sein Schiff in einer Milch zu schwimmen schien. Als Grund ergab sich eine Masse von Thierchen, welche auf der Oberfläche schwimmend die natürliche Farbe des Meeres versteckten. Die carminrothen Zonen im stillen Ocean, welche oft beobachtet worden sind, haben eine gleiche Ursache; indessen sollen sie nach C. Dareste *) von derselben Alge herrühren, welche Ehrenberg auch im rothen Meere gefunden hatte, nämlich von Trichodesmium erythraeum. — Im Polarmeere sind ausgedehnte und scharf abgeschnittene grüne Zonen, welche Myriaden von Medusen enthalten, deren gelbliche Farbe, gemischt mit dem Blau des Wassers, das Grün hervorbringt. — Nahe an der Mündung großer Flüsse hat das Meer oft eine braune Farbe in Folge des Schlammes und anderer darin schwebender Substanzen. — Das gelbe Meer bei China hat diesen Namen von seiner gelben Farbe, welche es von der ungeheuren Menge gelben Schlammes erhält, den ihm der gelbe Fluß (Hoang-ho) zuführt. Die Schiffe lassen hier, bei 6 Faden Tiefe, halbe Meilen weit hinter sich Spuren dieses gelben Schlammes in der Richtung ihrer Fahrt auf der Oberfläche des Wassers zurück. Alle Wirbel und Meeresströmungen werfen in diesem Meere bis zu den Chusaninseln hinab und bis Korea hinauf, gelben Schlamm selbst aus Tiefen von 600 bis 700 Fuß empor. Es läßt sich denken, daß die Menge dieses Schlammes hier ungeheuer sein müsse. Nach Barrow's Berechnung gießt der gelbe Fluß in jeder Stunde eine Masse von mehr als 418 Millionen Körperfuß (Kubikfuß) Wasser in das Meer. Wenn darunter auch nur $^1/_{200}$ Schlamm aufgelöst sein sollte, so würden stündlich 2 Millionen und folglich in einem Tage 48 Millionen Kubikfuß Schlamm dem Meere zugeführt. Bei Annahme einer mittleren Tiefe des gelben Meeres von 120 Fuß würde diese Masse innerhalb 70 Tagen darin eine Insel von einer englischen Flächenmeile aufzuhäufen im Stande sein. — Andere Meere, wie das rothe, das schwarze, das weiße rc. haben diese Benennungen nicht von besondern Farben ihres Wassers, sondern aus anderen Ursachen erhalten. Das rothe Meer erscheint zwar an mehreren Stellen roth, welches von dem Widerscheine der Korallenklippen herrührt, aber

*) Instit. 1854. p. 82.

eben so viele andere Stellen erscheinen auch grün und weißlicht, von dem Schlamm, mit dem sie überzogen sind ꝛc. Lobo schreibt die rothe Farbe einzelner Stellen des rothen Meeres einer Gattung von Meerpflanzen zu, und behauptet, daß die Farbe seines Wassers an sich selbst von der Farbe des Weltmeeres nicht unterschieden sei. Das schwarze Meer soll seinen Namen von ehemaligen Umwohnern, welche schwarze Kleidung trugen, erhalten haben.

Das Meerwasser hat an manchen Orten einen sehr großen Grad von Durchsichtigkeit, z. B. bei den westindischen Inseln. In einem Boote hat man daher den herrlichsten Anblick, indem man sich über einer anscheinend krystallhellen Flüssigkeit befindet, und auf dem weißen Sande des Bodens jede Kleinigkeit sehr deutlich wahrnimmt, als Seeigel, Gewürme, Schnecken ꝛc., ganze Waldungen, Seepflanzen, Gorgonien, Korallen und Alcyonien, welche wegen der Refraction so nahe zu sein scheinen, daß man bei einer Entfernung von 6 bis 24 Fuß dieselben mit der Hand ergreifen möchte. Ja, man sieht nach Horsburgh *) dort den Meeresboden noch deutlich in einer Tiefe von 15 bis 20 Faden, wenn er aus vielfarbigen Korallen, oder aus Sande mit Korallen vermischt besteht. In verschiedenen Theilen der indischen Meere unterscheidet man den Grund selbst noch tiefer, z. B. bei Mindora die gefleckten Korallen in 20 Faden Tiefe. Hieraus ist es erklärlich, daß wegen nicht zu starker Absorption des Lichtes durch das Wasser die converen Linsengläser der Taucherglocken in 25 Fuß Tiefe noch als Brennlinsen wirken. Eigends auf dem Schiffe Coquille angestellte Versuche über die Durchsichtigkeit des Meerwassers bestanden darin, daß man ein weißes Bret in horizontaler Lage herabsenkte, und die Tiefe maß, bei welcher es unsichtbar wurde. Dieses fand statt bei der Insel Waigiou in 59 Fuß Tiefe und bei ganz heiterem Himmel in 75,3 Fuß; bei Port Jackson in 38,3 Fuß; bei Neuseeland in 35 F.; bei Ascension zwischen 28 und 36 F. Tiefe.

Zu den merkwürdigsten und interessantesten Naturerscheinungen gehört das sehr oft beobachtete Leuchten des Meerwassers. Es rührt von verschiedenen zum Theil noch sehr ungewissen Ursachen her. Am häufigsten ist die in den verschiedensten Meeresgegenden beobachtete Erscheinung, daß, wenn ein Schiff bei der Nacht mit starkem Winde fährt, die Spur, welche es im Wasser hinter sich zurückläßt, das Kielwasser, zuweilen einen hellen Glanz von sich giebt, der sich aber in der Regel nur den nächsten Wellen mittheilt, die sich in schiefer Richtung gegen das Kielwasser brechen. Dies Leuchten wird besonders durch den Nordwind begünstigt, Südwinde und feuchte Witterung sind ihm entgegen. Die Erscheinung findet nur an der Oberfläche des Meeres und niemals tiefer als das Schiff geht, statt. In der Ostsee kommt sie zu allen Jahreszeiten und namentlich in den Meerengen und Meerbusen vor. Es deutet dieselbe auf folgendes veränderliches, trübes und stürmisches Wetter und den Fischern ist sie Zeichen eines guten Fischfanges.

Von anderer Art ist ein Leuchten des Meerwassers, welches nur in wärmeren Himmelsstrichen vorkommt, bei Windstille, heißem Wetter und kleinem Wellenschlage. Dann scheint die ganze Oberfläche des Meeres so weit das Auge reicht in Brand zu stehen, und dieser Glanz ist in der Nähe der Schiffe und anderer bewegten Gegenstände noch erhöht, und zwar um so stärker, je gleichförmiger die

*) Gilbert's Ann. Bd. XXXIV. S. 51. Journ. of the Roy. Instit. N. XLIII. p. 224.

Bewegung des Wassers ist. Wenn man eine Tonne mit solchem leuchtenden Wasser füllt, so wird es allmälig dunkler wie das Schwanken aufhört, leuchtet aber bei jeder starken Erschütterung von Neuem. Bewegt man es mit dem Finger, so scheint an diesem das Licht einige Augenblicke zu haften, verschwindet aber zuletzt gänzlich. Nach Parrot ist indeß dieser letztere Zustand des Leuchtens nur ein durch die höhere Temperatur gesteigerter wie der vorerwähnte.

Bei einer dritten Art des Leuchtens ist das Meer nicht nur an seiner Oberfläche, sondern auch in der Tiefe leuchtend, so daß man des Nachts im Wasser andere Gegenstände erblickt, welche zugleich selbst leuchten. Wenn man von diesem Wasser in ein Gefäß schöpft, so sieht man, in der Nähe betrachtet, daß der Glanz von unzähligen, unter sich nicht zusammenhängenden Punkten ausgeht, welche sich unter dem Mikroskope als kleine Thierchen darstellen. Wenn man das leuchtende Wasser durch Löschpapier seiht, so verliert es seinen Glanz, indem die leuchtenden Thierchen an dem Papiere hängen bleiben, und nun dieses leuchtend machen. Forster giebt eine nähere Beschreibung dieses Phänomens, welches er 1772 in der Nähe des Caps der guten Hoffnung beobachtete. „Kaum war es dunkel geworden" sagt er, „so schien die See gleichsam überall in vollem Feuer zu stehen; jede Welle, die sich brach, hatte einen leuchtenden Saum, und wo das Schiff die See berührte, zeigten sich Streifen von phosphorischem Lichte. So weit das Auge in die Ferne reichte, stellte sich uns überall dieselbe Erscheinung dar, und selbst die Abgründe des unermeßlichen Oceans schienen mit Licht geschwängert. Große leuchtende Körper, die wir aus der Gestalt für Fische erkannten, schwammen um uns her. Einige näherten sich dem Schiffe und hielten denselben Strich, andere entfernten sich seitwärts, schnell wie Blitze; zuweilen näherten sie sich unter einander, und traf sichs, daß ein kleiner einem großen zu nahe kam, so kehrte jener eilends zurück, und suchte auf alle Art zu entkommen. Ich ließ einen Eimer voll dieses leuchtenden Wassers zur näheren Untersuchung heraufziehen, und fand darin unzählige, ganz kleine leuchtende Kügelchen, welche sich unglaublich schnell bewegten. Nachdem das Wasser eine Zeitlang ruhig gestanden hatte, schien die Zahl der leuchtenden Körperchen merklich verringert. Kaum aber rührte oder bewegte man wieder das Wasser, so ward es wieder hell, und die kleinen Funken fuhren darin sehr lebhaft in allerlei Richtungen umher, auch selbst nachdem es wieder allmälig still geworden war. Wir hatten den Eimer, vermittelst eines Stricks, von der Decke herabhängen lassen, um die Bewegung des Schiffes zu vermeiden und das Wasser recht ruhig werden zu lassen; demungeachtet bewegten sich diese Lichtstäubchen hin und her, so daß man von ihrer willkürlichen Bewegung überzeugt ward. Das Funkeln verstärkte sich aber, so oft man in dem Eimer mit der Hand oder mit einem Stecken rührte. Im ersten Falle blieb zuweilen ein solches phosphorisches Fünkchen am Finger sitzen; kaum war es so groß als der kleinste Nadelkopf. Das geringste Vergrößerungsglas gab die kugelförmige Gestalt und etwas bräunliche Farbe dieser gallertartigen, durchsichtigen Pünktchen zu erkennen. Unter dem Mikroskop entdeckte man eine sehr feine Röhre, welche von einer runden Mündung an der Haut ins Fleisch, oder in das Innere dieses kugelrunden Geschöpfs ging. Das Eingeweide bestand aus vier bis fünf ganz kleinen Säcken, welche mit der obenbenannten Röhre in Verbindung zu stehen schienen. Das stärkste Vergrößerungsglas zeigte nicht mehreres, sondern obiges nur noch deutlicher. Ich wünschte nun noch eines dieser Pünktchen in einem Wassertropfen

unter das Mikroskop zu bringen; allein ich konnte kein lebendiges mehr bekommen; ehe ich sie mit dem Finger ablösen konnte, starben sie wegen ihrer äußerst zarten Struktur." Die Beobachtungen Forster's sind von anderen Naturforschern bestätigt worden, nur haben einige andere Thierchen als Ursache des Leuchtens entdeckt.

Die erste dieser drei von Forster unterschiedenen Arten des Leuchtens hat man vielfach als ein elektrisches Phänomen angesehen, hervorgebracht durch die Reibung des Schiffes am Wasser. Buffon stellte in dieser Beziehung eigene Versuche an. Er goß Meerwasser in ein Gefäß, und bemerkte, daß unter allen Körpern, deren er sich bediente, um eine Reibung hervorzubringen, Metalle die meisten Funken verursachten. Thierische Körper wirkten weniger als Eisen, aber mehr als Holz; das Glas brachte fast keine Wirkung hervor. Sobald er das Meerwasser mit einer Degenklinge in Bewegung setzte, so glänzte es plötzlich von einer großen Menge rother Funken, welche aus der Klinge herauszuschießen schienen und mit einander verschwanden. Dieses Funkensprühen ward indeß bei länger fortgesetztem Reiben des Wassers allmälig geringer und verschwand zuletzt. Ließ aber Buffon das Wasser einige Zeit ruhen, und fuhr nun von neuem mit der Klinge hinein, so ließen sich wieder Funken sehen, aber nicht mehr so zahlreich und glänzend, als da das Wasser frisch aus dem Meere gekommen war.

Le Roy leitet die zweite Art des Leuchtens von einem öligten phosphorartigen, flüssigen Stoff ab, welcher sich über die Oberfläche des Wassers verbreite, und bei Berührung mit der atmosphärischen Luft sich entzünde. Dieser Stoff soll ein Product der verwesenden Seethiere im Wasser sein, und die Sonnenhitze soll diese Verwesung befördern. Canton und Forster stellten eigene Versuche in dieser Beziehung an, indem sie mehrere Arten Fische in Seewasser und mit Salz versetztes Süßwasser legten und sie darin in Fäulniß übergehen ließen. Wurde nun das Wasser umgerührt, so ward es leuchtend, bei einem Heringe z. B. in der dritten Nacht so stark, daß man die Stellung der Zeiger einer Uhr dabei erkennen konnte. Große Wärme beförderte die Fäulniß und das Leuchten. (Ueber das Leuchten in Verwesung übergehender Seethiere s. d. Art. Licht Bd. IV. S. 510.) Parrot bestreitet diese Erklärung und leitet beide, die erste und zweite, Arten des Leuchtens des Meerwassers von gephosphortem Wasserstoffgas ab, welches sich aus den faulenden Thieren erzeugen soll, und sich nur unter günstigen Umständen, bei einer hinreichenden Menge der entwickelnden Körper und bei Aufregung des Wassers in so großer Menge an die Oberfläche des Wassers erhebt, daß es sich hier bei seiner Entzündung an der Luft dem Auge als Feuererscheinung bemerklich macht.

Daß die dritte Art des Leuchtens von lebenden Thieren herrührt, darüber ist jetzt kein Zweifel mehr. Wir verweisen deshalb nochmals auf Art. Licht S. 507 und wegen der leuchtenden Seethiere besonders auf S. 509 und 510. Hier wollen wir nur noch bemerken, daß Ehrenberg bereits 101 verschiedene Species leuchtender Infusorien unterscheidet, und daß Verhaeghe, Badearzt zu Ostende, in einer Brochüre: Du flux et du reflux de la mer die noctilucea miliaris (Ehrenberg's Mammaria scintillans), welche die Größe eines kleinen Stecknadelkopfes hat, als die Hauptträgerin der Phosphorescenz in der Nordsee aufführt. Wenn das Meerwasser gefriert und nachher wieder aufthaut, oder wenn man aufgethautes Eis des Meeres untersucht, so ist keine Spur leuchtender Infu-

sorien in demselben mehr zu entdecken, wenn auch sonst an den betreffenden Stellen dieselben zu finden waren. Die ersten schwachen Lichterscheinungen zeigt die Nordsee im April, und je mehr mit der wärmeren Jahreszeit die Zahl der Thierchen zunimmt, desto stärker leuchtet auch das Seewasser.

Am 20. Mai 1778 war das Leuchten im Hafen von Havre besonders groß-artig. Die Thierchen machten durch ihre große Menge bei Tage das Wasser trübe und bedeckten es wie mit einer dicken Oelschicht. Als man Abends 10 Uhr Wasser schöpfte und in ein anderes Gefäß goß, erschien es wie ein Feuerstrom. Als etwas auf ein Brett gegossen wurde, blieb es 3 Minuten lang funkelnd und das vom Wasser ausgehende Licht soll so stark gewesen sein, daß man eine feine Schrift lesen konnte *).

Stehendes Meerwasser geht sehr bald in Fäulniß über wegen der in demselben aufgelösten thierischen und vegetablischen Stoffe, wie namentlich daraus erhellt, daß beim künstlichen Seewasser, also Auflösungen von Salzen ohne jene Stoffe, eine Fäulniß nicht eintritt. Daß bei dem Meere selbst keine Fäulniß sich zeigt, hat jedenfalls seinen Grund in der Bewegung, in welcher sich dasselbe fortwährend befindet, und vielleicht auch in der geringen Quantität der in der großen Wassermenge enthaltenen organischen Stoffe.

4) Bewegungen des Meeres. (Ebbe und Fluth, Strömungen, Strudel, Wellen.) Die Bewegungen des Meeres sind theils regelmäßig theils unregelmäßig. Eine der merkwürdigsten regelmäßigen Bewegungen ist die Ebbe und Fluth, worüber ein besonderer Artikel (Bd. II. S. 573 bis 583) handelt; ferner gehören hierher die Strömungen.

Denken wir uns die Erde einmal vollständig mit Wasser bedeckt, so versteht sich zunächst eine unmerkliche verticale Strömung des Meerwassers von selbst, indem die wärmeren Wassertheile als die leichteren emporsteigen, die kälteren als die schwereren herabsinken. Die Temperatur des Meeres nimmt daher — und dies ist eben ein Beweis für diese verticale Strömung — im Gegensatze zu der des Landes mit der Tiefe ab, in höheren Breiten bis auf — 3°,78 C. **). Ferner wird die stärkere Ausdünstung des Meeres in den Aequatorialgegenden ein Zuströmen des Wassers von Norden und Süden bewirken müssen, so daß auf der nördlichen Halbkugel — nach denselben Principien wie bei den Passatwinden (vergl. Art. Winde), nämlich in Folge der Axendrehung der Erde — eine Strömung aus Nordost, auf der südlichen Halbkugel aus Südost entsteht, welche in der Nähe des Aequators ganz in eine Strömung aus Osten übergeht, und unausgesetzt über den ganzen Aequatorgürtel fortdauern müßte. Es ist dieser Oststrom nichts anderes, als der von den Seeleuten sogenannte Weststrom, weil er nach Westen hin treibt. Die Holländer nennen diesen Strom die Dienung. Daß die Passatwinde, welche in derselben Richtung wehen, in welcher das Zuströmen zu dem Aequator erfolgt, diesen Strom noch verstärken, ist an sich einleuchtend; eben so wird derselbe unterstützt durch die Ebbe und Fluth; indem der Mond und — wenn auch in geringerem Grade — die Sonne bei ihrer scheinbaren Bewegung von Osten nach Westen um die Erde das Meerwasser hinter sich, also in der Richtung des Stromes herziehen.

*) Foissac, Meteorologie. Th. II.
**) Vergl. Art. Erde. Bd. II. S. 922 ff.

Durch das Festland in seiner verschiedenen Küstenbildung, eben so durch die Inseln und untermeerischen Gebirge wird der im Vorhergehenden abstract charakterisirte Weststrom in mannichfacher Weise abgeändert. Die normale Strömung kann nur entschieden auftreten in der Mitte des atlantischen Oceans zwischen Afrika und Amerika und im stillen Ocean, obgleich sie hier die vielen Inseln mannichfach stören. Wird der Weststrom durch irgend ein Hinderniß gezwungen eine nördliche oder südliche Richtung einzuschlagen, so wird er eben so wie die vom Aequator zurückkehrenden Passatwinde, auf der nördlichen Halbkugel mehr nach Nordost hin, auf der südlichen mehr nach Südost hin streben. Hierbei kann das warme Wasser desselben in hohe Breiten hinweggeführt werden, und somit ergiebt sich ein Einfluß auf das Klima, der von der allergrößten Wichtigkeit ist nicht blos bei Inseln, sondern bei ganzen Continenten. Das Wegströmen des Wassers vom Aequator, das Zuströmen andererseits nach dem Aequator bildet somit ein vollständiges Circulationssystem. Nehmen wir beispielsweise den nördlich vom Aequator liegenden Theil des atlantischen Oceans, so muß an Europas und Afrikas Westküste das Wasser nach dem Aequator hinströmen, hier nach Westen, an der amerikanischen Küste nördlich gerichtet sein, und in der Mitte dieses Kreislaufes müßte eine Stelle sein, um welche gewissermaßen, wie um einen Ruhepunkt, die Rotation erfolgt. Steht damit die Erfahrung im Einklange? — Allerdings; denn die Sargasso-See ist dieses Centrum.

Die Sargasso-See liegt mitten im atlantischen Oceane in dem dreieckigen Raume zwischen den Azoren, den canarischen und capverdischen Inseln. Sie bedeckt eine dem Mississippi-Thale an Ausdehnung gleichkommende Fläche und ist so dicht mit Fucus natans — oft wie mit einer Matte — bedeckt, daß die Bewegung der sie passirenden Schiffe oft sehr verzögert wird. Als die Gefährten des Columbus sie sahen, glaubten sie, daß sie die Grenzen des schiffbaren Meeres bezeichneten und geriethen in große Besorgniß. Dem Auge erscheint sie in einiger Entfernung fest genug, um darauf zu gehen. Columbus fand zuerst diese Tangwiesen, wie sie Oviedo nennt, auf seiner Entdeckungsreise und dort sind sie bis auf den heutigen Tag geblieben, und gewisse in Bezug auf ihre Grenzen angestellte Beobachtungen, die sich bis auf 50 Jahre zurückerstrecken, geben uns die Gewißheit, daß ihre Stelle bis auf den heutigen Tag immer noch dieselbe ist. Gewiß ein deutliches Anzeigen einer Kreisbewegung *). Eben so hat sich aus den aufgefundenen Flaschen, die man mit Angabe der Zeit und des Ortes in das Meer zu werfen pflegt, ergeben, daß die Gewässer von jeder Gegend des atlantischen Oceans sich dem Golfe von Mexico und seiner Strömung zu bewegen **). So wie im nördlichen Theile des atlantischen Oceans die Sargasso-See der Sammelplatz des Seetangs und eben so des Treibholzes ist, so findet sich nach Maury (a. a. O. S. 130) auch im stillen Oceane westlich von Californien ein weiter Behälter, in welchem sich das Treibholz des stillen Meeres im Allgemeinen sammelt, so daß man also auch von einem chinesischen oder Japanischen Golfstrome sprechen könnte.

*) Maury a. a. O. S. 18. v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 328; am ausführlichsten handelt von der Sargasso-See Berghaus, allgem. Länder- und Völkerkunde. 1837. Bd. I. S. 418 ff.

**) Maury a. a. O. S. 17. Berghaus a. a. O. Bd. I. S. 535.

Der durch die Küsten in seinem Laufe gestörte Weststrom erscheint somit als der Ausgangspunkt für die großen, den atlantischen und stillen Ocean durchfließenden Strömungen. In dieser Abhängigkeit hat man sie von Anfang an nicht erkannt, wie man ja in der Naturforschung überhaupt von dem Speciellen zum Allgemeinen fortschreitet; deshalb sind einzelne Strömungen vorzugsweise studirt und auch mit besonderen Namen belegt worden. Die bekannteste unter allen Strömungen ist der Golfstrom, bereits von Anghiera und Humfrey Gilbert im sechzehnten Jahrhunderte erkannt *).

Der Golfstrom kommt aus dem mexikanischen Meerbusen oder mexikanischen Golfe und geht in der Richtung nach Nordost zu den europäischen Küsten. An der Ausfahrt des Canals von Bahama wendet er sich unter dem Namen Strömung von Florida nach Nordost mit der Geschwindigkeit eines Waldstromes von 1,25 Meilen in 1 Stunde oder 8 Fuß in 1 Secunde. Bei den Bänken von Neufundland richtet er sich geradezu östlich. Hierauf wendet sich ein kleiner Theil nach Südost und vereinigt sich mit dem an der afrikanischen Küste südwärts strömenden Wasser, so daß hier ein Kreislauf entsteht, in welchem das Wasser in etwa $3^1/_2$ Jahren seinen Umlauf vollendet; der bei weitem größte Theil aber strömt, indem sein Wasser sich stets mehr ausbreitet, bis nach den Faröer-Inseln, den irländischen und norwegischen Küsten. In der Nähe von Newyork, Philadelphia und Charlestown ist er durch die höhere Temperatur, seine dunkle Farbe, den starken Salzgehalt und die Menge Varec (Soda), welche er führt, kenntlich. Nach Norden hin wird er breiter, kälter und langsamer. Bei Bahama ist er fast 4 Meilen, gegen Charlestown über 10 bis 12 Meilen breit, und legt etwa 1 Meile in 1 Stunde zurück. Unter 40° n. Br. ist seine Temperatur noch 22°,5 C., die des Meeres aber 17°,5 und seine Breite 20 Meilen. — Der Golfstrom hat vom mexikanischen Busen an bis an die Küste von Carolina eine Indigofarbe. Sein Wasser grenzt sich so bestimmt ab, daß man die Scheidelinie mit dem Auge verfolgen kann; ja man kann bemerken, wie die eine Hälfte des Schiffes im Golfstromwasser, die andere in gemeinem Seewasser schwimmt. — Die Temperatur des Golfstromes ist noch nicht vollständig erforscht. Franklin fand im November 1776 zwischen $35^1/_2$° und 39° n. Br. 23°,8 C. bis 27°,2, d. i. 5,5 bis 8,25° über der Temperatur, welche in dieser Jahreszeit der Ocean in diesen Breiten zeigt. Dies waren die ersten derartigen Beobachtungen, die seitdem oft wiederholt sind. Berghaus (a. a. O. Bd. I. S. 558) giebt eine reichhaltige Uebersicht der über die Temperatur des Golfstromes gemachten Beobachtungen. — Merkwürdig ist die dachähnliche Oberfläche des Stromes. Läßt man von einem Schiffe, welches sich von dem Golfstrome forttreiben läßt, ein Boot in das Meer, so pflegt dies entweder nach Osten oder nach Westen zu treiben, je nachdem es zufällig auf der einen oder anderen Seite der Stromaxe ist, während das Schiff selbst in der allgemeinen Richtung der Strömung dahintreibt. Dies läßt sich nur dadurch erklären, daß der Strom von der Mitte nach dem Rande zu wie ein Dach sich abschrägt. Daher kommt es auch, daß schwimmende Substanzen, welche an der Ostseite des Stromes in See geworfen wurden, nie längs den Küsten der Vereinigten Staaten aufgefunden worden sind, und eben so daß Seetang, Treibholz und andere feste Körper, die man auf dem Golfstrome schwimmend antrifft,

*) v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 327.

an seinem Rande ausgeworfen und abgesetzt werden. — Die Lage des Golfstromes ist übrigens nicht fest. Im September, wenn die See am wärmsten ist, reicht die Nordgrenze desselben in der Länge von Neufundland weiter nach Norden, als im Winter. — Endlich wollen wir noch bemerken, daß die dichten Nebel Neufundlands, welche im Winter der Schifffahrt so große Gefahr bereiten, wohl dem ungeheuren Volumen warmer Gewässer ihre Entstehung zu verdanken haben, welche der Golfstrom in die kalten Meere leitet, und da hiermit nothwendig atmosphärische Störungen verbunden sind, so ist auch nicht zu verwundern, daß in und an den Rändern des Golfstromes die schrecklichsten Orkane wüthen *).

Haben wir oben den Ursprung des Golfstromes aus dem Weststrome nachzuweisen gesucht, so mögen jetzt noch die früheren Ansichten eine kurze Berücksichtigung finden. Früher behauptete man, daß der Mississippi der Vater desselben sei. Capitain Livingston zeigte das Unbegründete, indem das Volumen Wasser, welches der Mississippi in den Golf von Mexiko ausschüttet, noch nicht ein Tausendstel von dem ist, welches aus dem Golf durch diesen Meeresstrom entweicht. Ueberdies ist das Wasser des Golfstromes salzig, das des Mississippi süß. Was der Strom an Salz aus dem Golfe entführt, das muß ein anderer Strom wieder ersetzen und dies geschieht durch den Weststrom. Livingston behauptete nun, die Geschwindigkeit des Golfstromes hänge von der Bewegung der Sonne in der Ekliptik und von dem Einflusse ab, den sie auf die Gewässer des atlantischen Oceans ausübt. Hiergegen trat Franklin mit der Ansicht auf, daß der Golfstrom der Abfluß der Wassermassen sei, welche durch die Passatwinde in das caraibische Meer hineingetrieben würden. Dann müßte aber der Stand des Meeresniveaus im Golf von Mexiko ein viel höherer sein, als oben bereits als ermittelt angegeben ist.

Verfolgen wir nun den als Golfstrom aus dem Busen von Mexiko austretenden Weststrom in seiner Richtung nach Norwegen zu weiter, so ergiebt sich, daß die hier zusammengedrängte Wassermasse eine Strömung in das sibirische Eismeer erhält, wodurch die starke Strömung durch die Behringsstraße und selbst aus der Baffinsbay veranlaßt wird, woraus dann wieder die Strömungen des kalten Polarwassers an den Küsten von Grönland und Nordamerika erklärlich werden.

Ebenfalls aus dem Weststrome erklärt sich der bedeutende Meeresstrom von St. Catharina nach Brasilien und dann zum Vorgebirge der guten Hoffnung. — Ferner ist ein 130 Seemeilen breiter Strom an der Südküste Afrikas, dessen Wasser stets 10° wärmer ist, als das Wasser des Meeres in seiner Nähe. Er geht dann in den großen Weststrom über. — Ein mächtiger Strom geht vom grünen Vorgebirge nach dem Meerbusen Fernando-Po, mit welchem die Schiffe 60 Seemeilen in 2 Tagen zurücklegen, wozu sie gegen denselben 6 bis 7 Wochen brauchen. — An der Küste von Peru herrscht von Chiloé an eine so heftige Strömung von Nord und Nordost, daß man von Lima nach Guayaquil in 3 bis 4 Tagen schifft, während man 2 bis 5 Monate braucht, um von hier nach Lima zurückzuschiffen. — Bei der Insel Ceylon geht ein Meerstrom von Mitte März

*) L'Instit. No 988. p. 393 enthält eine Karte des verwickeltsten und interessantesten Theiles des Golfstromes von Saint Clair Deville. Sie begreift den Theil des atlantischen Oceans zwischen 10—40° n. Br. und 55—100° w. L., und hat den Zweck, die Temperatur des Wassers an der Oberfläche in diesem Raume anzugeben.

bis in den October von Norden nach Süden, die übrige Zeit in entgegengesetzter Richtung. — Zwischen Malacca und Cochinchina geht vom April bis August ein Strom ostwärts, dann aber mit solcher Heftigkeit nach Westen, daß das Meer braust, als wenn sein Wasser gegen Felsen anpralle. — Der schnelle Strom in der Sunda-Straße bei Sumatra geht zur Zeit der Westwinde 18 Stunden nach Südwesten und hilft dann den Schiffen gegen die Winde fort; zur Zeit der Ostwinde aber zieht er eben so lange nach Osten. In den übrigen Monaten gehorcht er dem herrschenden Winde. — Unweit Celebes giebt es nach verschiedenen Richtungen ziehende und veränderliche Ströme; bald laufen sie süd-, bald nordwärts, bald verschwinden sie ganz. — An der westlichen Küste Südamerikas gehen die Strömungen von Süden nach Norden. Von Morro de Puercos bis Malpelo gehen sie nach Südwesten und Westen, und von da nach St. Francisco, so lange Nordwinde herrschen, gegen Süden und Südwesten. Bei Südwinden erhalten sie eine nördliche und nordwestliche, von St. Francisco nach Malpelo eine östliche, und von hier nach Morro de Puercos eine nordwestliche und westliche Richtung. — Ein großer Theil der letzteren Strömungen gehört jedenfalls zur sogenannten Drift, worunter man eine nur oberflächliche Bewegung des Meeres versteht, an welcher eben die Luftströmungen den größten Antheil haben. Nicht dahin gehört aber die von A. v. Humboldt 1802 entdeckte Polarströmung, welche aus dem südlichen Eismeere kommend, bei der Insel Chiloé mit 11° C. die Küste von Südamerika trifft und noch mitten in der Tropengegend nur 15,6° C. zeigt, während das ruhende Wasser außerhalb desselben die Temperatur 27,5 und 28,7° hat. Erst in der Nähe des Aequators ist die Temperatur auf 20° gestiegen, wo die Richtung des Stromes westlich wird und in den allgemeinen Weststrom übergeht *).

Besondere Strömungen zeigen sich in Meerengen, von denen wir namentlich die in den Straßen von Gibraltar, Bab-el-Mandeb, von Constantinopel und in dem Sunde hervorheben wollen.

Die Strömung in der Straße von Gibraltar ist eine Doppelströmung. Aus dem atlantischen Ocean geht ein Oberflächenstrom in das Mittelmeer, wie oben bereits angegeben ist. Dieser Strom führt salziges Wasser, dessenungeachtet wird aber das Mittelmeer nicht salziger, und daraus schon wird man zu der Vermuthung veranlaßt, daß dieses eingeführte Salz wieder ausgeführt werden müsse durch einen unteren Strom. Hierauf bezügliche Beobachtungen gehen bis auf das Jahr 1712 zurück.

Im Jahre 1712 **) kam du L'Aigle, Commandeur des Kaperschiffes „der Phönix" aus Marseille, indem er nahe bei der Landspitze von Ceuta auf ein nach Holland fahrendes holländisches Schiff Jagd machte, mitten in der Meerenge zwischen Tarifa und Tanger mit demselben zusammen, gab ihm eine volle Lage und bohrte dasselbe sofort in den Grund. Die Mannschaft wurde gerettet. Einige Tage darauf kam das holländische Schiff mit seiner Ladung von Branntwein und Oel an der Küste von Tanger wieder zum Vorschein, d. h. wenigstens 12 englische Meilen westlich von der Stelle, wo es gesunken war, und gerade gegen den An-

*) Kosmos. Bd. I. S. 328. Berghaus a. a. O. Bd. I. S. 590.
**) Maury a. a. O. S. 121, nach Hudson's 1724 der Philosophical Society mitgetheiltem Aufsatze.

drang der Strömung. Also muß in der Mitte der Meerenge im tiefen Wasser eine Rückströmung sein nach dem atlantischen Oceane hin.

1828 fand Wallaston das speeifische Gewicht einer Probe von Meerwasser aus einer Tiefe von 670 Faden, 50 Meilen (Seemeilen oder englische?) innerhalb der Meerenge so bedeutend, daß es die Dichtigkeit des destillirten Wassers um mehr als das Vierfache des gewöhnlichen Exeesses überschritt und also bei der Verdunstung auch mehr als das Vierfache der gewöhnlichen Menge von Salzresiduum zurückließ. Hat also die untere, nach dem atlantischen Oceane gerichtete Strömung mit der oberen gleiche Breite und Tiefe, so führt sie so viel Salz, als die obere zubrachte, wieder aus, wenn sie sich auch mehr als viermal langsamer bewegt.

Wie in der Straße von Gibraltar, verhält es sich in der Straße Bab-el-Mandeb. Hier ist ebenfalls eine obere Strömung vom Ocean in das rothe Meer hinein und eine untere aus diesem in den Ocean hinaus. Als Beweis hierfür verweisen wir auf die oben unter Nr. 3. S. 990 beigebrachten Angaben über den Salzgehalt des rothen Meeres.

Von dem Sunde erzählt man folgenden Vorfall: Matrosen von einer englischen Fregatte fuhren in einer leichten Pinasse mitten in den Sund, indem das Fahrzeug der gewöhnlichen Strömung folgte. Als sie aber einen ledernen Eimer, in welchem sich eine große Kanonenkugel befand, in das Wasser hinabließen, so hielt die Pinasse allmälig still, und fuhr endlich, wie der Eimer immer tiefer kam, gerade gegen die Strömung. Es ergab sich bei genauer Untersuchung, daß die untere entgegengesetzte Strömung in einer Tiefe von 4 bis 5 Faden bemerkbar zu werden anfing, und daß sie immer mehr zunahm, je mehr man sich dem Grunde näherte.

So wie an diesen besonderen Localitäten Gegenströmungen stattfinden, so sind die Meeresströmungen überhaupt nur möglich, wenn eine Oberflächenströmung durch eine entgegengesetzte untere compensirt wird, jedenfalls bedingt ein Strom einen anderen in entgegengesetzter Richtung. Wir führen hier deshalb noch einen Beleg für unterseeische Strömungen an *). Lieutenant J. C. Walsh auf dem Schooner der Vereinigten Staaten „Taney" und Lieutenant S. P. Lee auf der Brigg „Delphin" haben beide hierüber Versuche angestellt. Ein Holzblock wurde bis zum Untersinken befrachtet und vermittelst einer Fischerleine oder an einem Takelgarn bis zur Tiefe von 100 oder 500 Faden (600 oder 3000 Fuß) ins Meer hinabgelassen. Ein kleiner Schwimmer, nur gerade hinreichend, um den Block am tieferen Einsinken zu verhindern, wurde dann an die Leine befestigt und das Ganze vom Boote losgelassen. Sie erzählen: „Es war wunderbar, diese Barrega sich gegen Wind und See und Oberflächenströmung und zwar im Allgemeinen stündlich einen Knoten, in einem Falle sogar 1¾ Knoten, fortbewegen zu sehen. Die Leute im Boote konnten einen Ausruf des Erstaunens nicht zurückhalten, denn es erschien wirklich so, als ob ein Seeungeheuer der Tiefe das Gewicht unten ergriffen hätte und mit demselben davoneilte."

Bemerkenswerth sind noch die Seitenströmungen, welche in manchen Meerengen, z. B. in der von Gibraltar, an den Seiten der Ufer dem Hauptstrome entgegengesetzt auftreten.

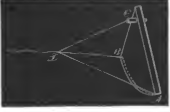
---

*) Maury a. a. O. S. 134.

Als Ursache aller Meeresströmungen ist demnach hauptsächlich der Oststrom (Weststrom) zu betrachten. Ueberdies sind periodische Winde, ungleiche Temperatur des Meeres (wodurch eine gewaltige Ausdehnung des wärmeren Theiles bedingt wird), Klippen und Meerengen, der ungleiche Wasserstand mittelländischer Meere und der durch die Verdunstung bewirkte größere Salzgehalt (welcher größere Schwere des Wassers zur Folge hat) als Ursachen der verschiedenen Meeresströme zu betrachten. Die Schiffe suchen natürlich von den Meerströmen Vortheil zu ziehen, doch erleiden sie auch große Nachtheile durch dieselben, namentlich wenn sie gegen den Strom segeln müssen. Sind sie in einem reißenden Strome, wie dem bei Peru, nur um einen Tag zu weit an dem Hafen, nach dem sie bestimmt sind, vorbei gesegelt (indem Nebel, die häufig namentlich an jener Küste sind, sie täuschen), so haben sie zuweilen einen Monat lang zu thun, um denselben Weg wieder zurückzulegen. Ob sich das Schiff in einem Strome befindet, kann man nur bei sehr reißenden Strömen alsbald bemerken. Denn sobald Schiff und Strom mit gleicher Schnelligkeit zugleich forteilen, ohne daß ein Brausen des Meeres zu bemerken ist, so scheinen beide auf den ersten Anblick still zu stehen. Die Schiffer bedienen sich daher, um zu entdecken, ob sie sich in einer Strömung befinden, des Log's *), indem sie den in gewisser Zeit wirklich zurückgelegten Weg

---

*) Horner giebt folgende Beschreibung des Log. Vom segelnden Schiffe wird ein schwimmender Körper an einem langen Faden ausgeworfen; dieser ist dann als ein ruhender Punkt zu betrachten, von welchem das Schiff sich entfernt; der nachgezogene Faden mißt diese Entfernung für einen gegebenen Zeitraum, z. B. eine halbe Zeitminute, und aus diesem kurzen Versuche wird dann auf die Ortsveränderung des Schiffes in einer ganzen Stunde ein freilich sehr unsicherer Schluß vom Kleinen aufs Große gemacht. Der schwimmende Körper oder das Log selbst ist ein hölzerner Quadrant von 4 bis 6 Zoll Radius, an dessen Kreisrand A B in beistehender Figur ein Streifen Blei eingelassen ist, so schwer, daß die Spitze C nur eben aus dem Wasser herausragt. In A und B sind zwei Schnuren befestigt, die in D sich gabelförmig vereinen; die dritte Schnur C D ist mit dem Pflocke C in Verbindung, der nicht allzufest in das Logbrett eingesteckt ist. Alle drei vereinigen sich in die Logleine. Vermöge des Bleirandes schwimmt das Logbrett aufrecht und setzt mithin dem Wasser in der Richtung des Zuges die größte Fläche entgegen. Ein plötzliches Anhalten der Linie nach gemachter Beobachtung bringt auf die Schnur C D einen schnellen Ruck hervor, welcher das Zäpfchen auszieht, so daß nun das Logbrett flach auf dem Wasser liegt, mithin dem Einziehen desselben wenig Widerstand entgegengesetzt wird. Die Logleine selbst ist hin und wieder durch eingeklemmte Zeichen oder Knoten von farbiger Wolle abgetheilt nach folgenden Regeln Der mittlere Grad des Erdmeridians hält 57040 Toisen, also eine Erdminute oder die nautische, auch sogenannte italienische Meile 5704 Par. Fuß. Ein Schiff, welches in einer Stunde Zeit eine solche Meile zurücklegt, hätte also Geschwindigkeit in 1 Minute $= \frac{5704}{60} = 95'$; in einer halben Minute $47\frac{1}{2}$ Par. oder nahe 51 engl. Fuß. Nach diesen Intervallen wird die Logleine in Knoten eingetheilt, wobei auch halbe und Viertelsknoten oder besser noch Zehntheile stattfinden. Das erste Zeichen ist um 50 bis 60 Fuß vom Logbrette entfernt, damit vor Anfang der Messung das Log sich hinreichend aus den Strudeln des Schiffes entfernen und die ihm vorher ertheilte Geschwindigkeit verlieren könne. Das Intervall von 30 Secunden wird vermittelst einer kleinen Sanduhr bestimmt. Zur Operation selbst werden drei Personen erfordert. A hält



(nach astronomischen Beobachtungen berechnet) mit dem vom Log angezeigten vergleichen. Bewegt sich nämlich das Schiff allein unter dem Einflusse eines Stromes, so wird sich das Log in derselben Entfernung vom Schiffe erhalten, denn es wird eben so wie dieses vom Strome fortgetragen. Wirkt aber der Sturm mit dem Strome zugleich zu Förderung des Schiffes, so bewegt sich dies schneller, als aus der Beobachtung des Log zu schließen ist. Treibt endlich der Wind das Schiff gegen den Strom, so wird es durch diesen aufgehalten und das Log giebt zu große Angaben. Steht endlich das Schiff still und wird das Log ausgeworfen, so geht es natürlich mit dem Strome fort.

Wenn das mit Gewalt fortströmende Wasser auf Felsen trifft, so entsteht ein Wirbel, eine kreisförmige Bewegung des Wassers, und Stellen, wo dies vorkommt, werden Strudel genannt. Auch da, wo zwei Meerströme einander entgegen kommen, entstehen Strudel. Zu den bekanntesten, schon im Alterthume berühmten Strudeln gehören die Scylla und Charybdis. Homer, Virgil, Lucrez, Ovid, Aristoteles, Sallust, Seneca, Strabo, Plinius, Mela und andere beschreiben sie als fürchterlich. Entweder die Meerenge ist jetzt weiter, und die Klippen sind mehr weggespült, oder weit wahrscheinlicher macht die bedeutend vervollkommnete Schifffahrt diese Strudel jetzt minder gefährlich. Beide liegen zwischen Calabrien und Sicilien, wo ein regelmäßiger, ruhiger Strom sich findet, welcher abwechselnd nach Süden oder Norden geht. Wird er durch Windstöße gestört, so entstehen durch Ungleichheit der Meeresufer und durch verborgene Klippen die Strudel. Darunter ist Scylla der gefährlichste. Ein längs der nördlichen Küste Siciliens hinfließender Strom begegnet einem anderen an der Küste Italiens herabfließenden, und wenn diese heftig bewegt gegen einander stoßen, so vermögen die entstehenden Wellen selbst größere Schiffe zu zertrümmern. Winde, welche an der Küste Italiens herabwehen, vermehren die Gefahr. Scylla selbst bildet einen steilen, mäßig hohen, mit Höhlungen versehenen Felsen, in welche die Wellen hineinschlagen und dadurch ein auf 2 italienische Meilen hörbares Geheule, wie das Bellen der Hunde verursachen. Nach Beschaffenheit des Windes ist die Strömung stärker, und die Schiffe würden entweder gegen den Felsen der Scylla, oder auf die gegenüberliegenden Sandbänke geworfen werden, wenn nicht 24 Lotsen, welche die Strömung sehr genau kennen, die Schiffe mit bewundernswürdiger Geschicklichkeit durchbrächten. Neun italienische Meilen unterwärts bei Messina liegt die Charybdis. Die dortigen Schlünde unter dem Wasser sind Folgen der Strudel, nicht Ursachen derselben, denn sonst müßten diese beständig sein. Ein Theil des

---

einen leichten hölzernen Haspel, auf welchen die Leine aufgewickelt ist, mit der Axe horizontal, B hält das Sandglas, und der Beobachter C wirft das Log aus, dessen Leine er lose zwischen den Fingern durchgleiten läßt. In dem Augenblicke, wo ihm der Anfangsknoten der Logleine durch die Hand schlüpft, kehrt B auf seinen Ruf das Sandglas um, und giebt hinwieder, wenn dieses abgelaufen ist, dem C ein Zeichen, die Leine anzuhalten. Dieser zählt dann die abgelaufenen Knoten und giebt nach diesen den Weg in Knoten oder Gradminuten an, welchen das Schiff im Laufe einer Stunde zurücklegt. Ein Knoten Fahrt würde demnach dem Schiffe eine Geschwindigkeit von 1½ Par. Fuß in der Secunde geben; die gewöhnliche, gemäßigte Bewegung von 4 bis 5 Knoten wäre einer Geschwindigkeit von 7 Fuß gleich. Die bei starkem Winde eintretende Fahrt von 7 bis 8 Knoten würde 11 bis 12 Fuß in der Secunde betragen, so daß man in 24 Stunden wohl 30 bis 40 deutsche Meilen zurücklegen kann.

durch den Canal getriebenen Wassers strömt gegen den Felsen des Leuchtthurms Calofaro, dem andere Strömungen begegnen, wodurch das Wasser sehr unruhig wird und Wellen schlägt, durch welche schwimmende Gegenstände nach Außen getrieben werden. In ruhigen Zeiten kann man sie mit kleinen Booten befahren, und Spallanzani fand sie nur 500 Fuß tief. Wenn aber der Sirocco oder S. O. Wind wehet, so werden die Schiffe von dem Strome hineingerissen und von den Wellen zerschlagen oder gegen die Felsen geworfen, wenn sie nicht zeitig durch die erfahrnen Lotsen gerettet werden. Anker, Segel und Steuerruder helfen in Scylla und Charybdis selbst dem erfahrensten Seemanne nicht.

Bekannt ist auch der Mahlstrom, Mäelstrom, Moskoestrom an der Küste Norwegens. Eine Reihe kleiner Inseln, die Lofoden, zieht sich hier von der Küste abwärts, in westsüdwestlicher Richtung ins Meer hinein, und bildet so gleichsam eine Landzunge, die aber von einer Menge schmaler Canäle zerschnitten ist. An der äußersten Spitze dieser Landzunge liegen zwei Inseln Wäron (Veröen) und Röst (Röston), welche von den übrigen Lofoden durch einen etwas breiten Canal getrennt werden. In der Mitte desselben steht die Klippe Moskoe. Der zwischen den Lofoden und dem festen Lande befindliche Meerbusen ist unter dem Namen West-Forden bekannt. Der Moskoe-Strudel entsteht nun durch den Kampf der dortigen Strömungen mit der Ebbe und Fluth. In jenem Canale bewegt sich nämlich das Wasser mit einer außerordentlichen Heftigkeit abwechselnd ungefähr sechs Stunden von Norden nach Süden, und eben so lange von Süden nach Norden; aber immer mit der Ebbe und Fluth in entgegengesetzter Richtung, so daß, wenn die Fluth nach Norden geht, der Strom nach Süden und umgekehrt nach Norden zieht, wenn jene nach Süden geht. Blos bei dem Umsetzen zur Zeit der höchsten Fluth und der tiefsten Ebbe tritt ungefähr 10 bis 15 Minuten ein Stillstand ein. Merkwürdig ist dabei, daß der Strom nicht, wie andere Meerströme, in der nämlichen Richtung vor und rückwärts läuft, sondern dabei gewissermaßen einen Halbkreis beschreibt. Wenn nämlich das Meer in halber Fluth ist und nordwärts zieht, so geht der Strom nach Süden. In dem Maße aber, als die Fluth wächst, wendet er sich allmälig nach Südwesten, dann nach Westen, hierauf nach Nordwesten und endlich nach Norden. Zur Zeit der halben Ebbe wendet er sich auf demselben Wege nach Süden zurück und verweilt hier so lange, bis das Meer von neuem sich in halber Fluth befindet. Wie diese sonderbare Bewegung des Mahlstromes entsteht, läßt sich auf folgende Art erklären. Wenn die Fluth von Süden nach Norden ansteigt, so theilt sie sich an der Spitze der Lofoden in zwei Hälften. Die eine (westliche) setzt ihren Lauf ungehindert fort, die andere (östliche) aber wird in Osten und Norden durch das Land, in Westen durch die Inseln aufgehalten, wodurch das Wasser ansehnlich gehoben werden muß. Durch die schmalen Bäche zwischen den Inseln kann es nicht ausweichen, es muß sich also dahin wenden, wo der niedrigste Stand ist, nämlich bei der Klippe Moskoe, und da Strömung und Fluth sich hier begegnen, so entsteht daraus ein heftiger Strudel. So lange die Fluth noch schwach ist, hindert sie den Strom nicht, gerade nach Süden zu gehen; aber in dem Maße, als sie wächst, gewinnt sie an Kraft, und zwingt ihn nun, nach derjenigen Seite auszuweichen, wo kein Land Widerstand leistet und das Wasser am niedrigsten ist, nämlich nach Westen. Es ist leicht zu erklären, wie der Strom zuletzt bis nach Norden hin gelenkt werden, und wie er beim Zurückgehen der Fluth sich allmälig wieder nach Süden wenden muß. Die

Wirbel, welche der Strom zu der Zeit macht, wo er am heftigsten ist, sind nicht über zwei Klaftern tief, und die Gefahren, welche er den Schiffen bringt, sind in früheren Zeiten gleichfalls sehr übertrieben worden. Man erzählte sich sonst, daß die Wirbel Alles in ihre Mitte rissen und klein mahlten, und daß der Strom eben davon den Namen Mahlstrom erhalten habe; selbst Wallfische und die größten Schiffe dürften sich ihm nicht ohne Gefahr nähern. Dies ist unwahr. Es wird im Gegentheil hier ein starker Fischfang getrieben. Ein Baum, den man hineinwirft, soll den Wirbel besänftigen. Daß die Menge von Klippen, besonders zur Zeit der großen Stürme, einzelnen Schiffen Gefahr bringen könne, ist allerdings nicht zu läugnen, kommt aber nicht auf Rechnung des Strudels.

Ein auch schon bei den Alten berühmter Strudel ist der chalcidische, in dem Euripus, oder in der Meerenge des griechischen Archipels, welche die vormalige Insel Euböa (jetzt Egribus oder Negroponte genannt) von dem festen Lande Griechenlands, namentlich Böotien und Attika (dem jetzigen Livadien) trennte. Sie ist bei der heutigen Stadt Negroponte (dem alten Chalcis) so schmal, daß man eine Brücke darüber schlagen könnte. Achtzehn bis neunzehn Tage in jedem synodischen Monate giebt es hier eine regelmäßige Ebbe und Fluth, die binnen 24 Stunden wie anderwärts zweimal abwechselt. Allein vom 9. bis zum 13., so wie vom 21. bis zum 26. nach dem Neumonde erfolgt die Ebbe und Fluth alle 24 Stunden 12, 13 oder 14 Mal, und das Wasser ist dabei in einer so äußerst heftigen und reißenden Bewegung, als ob sie durch den Sturm hervorgebracht würde. Gegenstände, die der Strudel ergreift, werden verschlungen und kommen erst nach einiger Zeit wieder zum Vorschein. Nach diesen Beobachtungen, welche man einem Jesuiten, Namens Babin, verdankt, der sich zwei Jahre lang in Negroponte aufgehalten hat, schien die ganze Erscheinung mit dem Stande des Mondes in den Vierteln in Verbindung zu stehen. Andere Beobachter haben gerade das Gegentheil finden wollen und behaupten, daß die Bewegungen des Euripus 18 bis 19 Tage in jedem (synodischen) Monate unregelmäßig, 10 bis 11 dagegen regelmäßig wären. Noch andere behaupten, während eines ganzen Monates gar keine Unregelmäßigkeit im Eintreten der Ebbe und Fluth, sondern blos bei der letztern eine sehr heftige Bewegung des Wassers bemerkt zu haben. Auch die Erzählungen der Alten von den Erscheinungen des chalcidischen Strudels weichen sehr von einander ab, und es scheint daher, als ob diese Erscheinungen selbst sich nicht gleich blieben.

Auch in den Faröer Inseln sind namentlich drei von den Schiffern gefürchtete Strudel: der Sumböe-Maelstrom an der Südostspitze der Insel Suderöe; das Mühlrad zwischen der Insel Sandöe und der Maelstrom zwischen den Inseln Skinöe, Bordöe und Videröe. Andere Strudel sind im bothnischen Meerbusen, an der nördlichen Spitze der Insel Bornholm, an der nordamerikanischen Küste im Long-Island-Sunde u. s. w.

Die wellenförmige Bewegung des Meeres, der Wellenschlag und die Wogen, wird durch den Stoß des Windes gegen das Wasser hervorgebracht, ist daher auch am gewaltigsten während eines Sturmes und nach demselben. Durch den Stoß gegen das Wasser wird eine Erhebung der umliegenden Theile hervorgebracht, diese sinken wieder nieder und pflanzen dadurch den ersten Stoß wieder weiter fort, so daß sich ein neuer Wellenberg erhebt u. s. f. Bei völliger Windstille ist auch das Meer ruhig und seine Oberfläche glatt. Erhebt sich darauf ein

schwacher Wind, so geht es in eine kräuselnde Bewegung über, die mit dem Winde zunimmt und bald zum Wellenschlage wird. Mit dem Winde wachsen die Wellen bis zu einer bestimmten Grenze. Wird nämlich der Sturm zu heftig, so drückt die Luftmasse so gegen das Wasser, daß sie die Erhebung der Wellenberge hindert. Läßt aber dann der Sturm plötzlich nach, so beginnt nun das Meer größere Wellen als vorher zu schlagen, welche Erscheinung die Schiffer hohle See nennen. Größe und Gestalt der Wellen hängen von der Tiefe und der Ausdehnung des Meeres ab, zum Theil sind sie kurz und schmal, zum Theil lang und breit. Jene sind die der Schiffsfahrt gefährlichsten, denn sie sind zugleich hoch und schleudern daher das Schiff gewaltig schnell hin und her. Sie entstehen auf flachen Meeren, wo der Wind leicht bis zum Grunde fortwirkt und hier einen Gegenstoß veranlaßt. In tiefen weiten Meeren ist die Wellenbewegung ausgedehnter und langsamer. Im Mittelmeere steigen die Wellen nur selten mehr als 8 Fuß über die gewöhnliche Meeresfläche. In der Ostsee steigen die Wellen bis zu 9 und 10 Fuß. Da jede Welle eine gleich große Vertiefung unter dem Meerspiegel zu Folge hat, so werden also die Schiffe bei solchem Wellenschlage bis zu 20 Fuß heraufgehoben und herabgelassen. Ventiand sah bei den heftigsten Stürmen die Wogen sich in mehr als 20 engl. Fuß über dem mittleren Meeresspiegel erheben. Die größte Höhe über dem Verdecke des Schiffes betrug 18 engl. Fuß *). Können sich die Wellen nicht ausbreiten, sondern sind sie zusammengedrängt, so daß sie über einander stürzen, sich aufthürmen, so häufen sie sich oft zu wahren Wasserbergen auf. Heftiger Sturm ergreift zuweilen die Gipfel der Wellen und schleudert sie über das Meer hin. Mit ungeheurer Gewalt stürzen die Wellen gegen und über die Schiffe hin. Kotzebue erzählt, wie durch eine Woge, die über sein Schiff stürzte, ein Balken von 2 Fuß im Durchmesser, der Vordermast, zerschmettert wurde. Die Wellen heben indessen nur die Oberfläche des Meeres und wühlen das Wasser höchstens bis zu einer Tiefe von 72 Fuß auf, so daß in 90 Fuß Tiefe vollkommene Stille herrscht, selbst wenn das Meer so bewegt ist, daß kein Schiff auszulaufen wagt. Die Perlenfischer scheuen die bewegte See nicht, um ihrer Beschäftigung nachzugehen. Neuere Beobachtungen scheinen jedoch für ein Tiefergehen der Wellen zu sprechen, wenigstens will Siot **) mit neuen Apparaten bei Isle de France noch bei 193 Meter Tiefe eine Wirkung der Meereswogen gefunden haben.

Wellen, die mit Heftigkeit über Klippen entstehen, vom Andrange des Meeres gegen sie (ohne daß Wind vorhanden zu sein braucht), heißen Brecher. Unter Wasserwänden versteht man viele über einander geschobene Wellen, welche, indem sie über eine Untiefe getrieben werden, sich stark ausbreiten und gleich einer über dem Wasser hervorragenden Mauer viele Fuß in die Höhe schwellen, endlich zerreißen und in sich selbst zusammenstürzen. Sie bedecken dabei oft die ihnen sich nahenden Schiffe und vermögen kleine Fahrzeuge ganz zu versenken. Wasserwände kommen namentlich im atlantischen Meere an der Küste von Senegal häufig vor.

Besonders schrecklich ist das Tosen des Meeres an steilen und felsigen Küsten, wo es die Brandung bildet, wobei eben die Brecher auftreten. Die Wellen, welche in schneller und wegen ihrer Masse und Schnelligkeit heftiger Bewegung

*) Compt. rend. T. V. p. 703. Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 592.
**) L'Instit. 1841. IX. p. 154.

sind, finden nämlich bei steilen und felsigen Küsten einen Widerstand, den zu überwinden sie nicht im Stande sind. Jede folgende Welle drängt die vorhergehende, und sobald diese aufgehalten wird, hebt sie dieselbe empor, bis sie sich überstürzt, worauf die gehobene Wassermasse in Gestalt von kleinen Wellen über die neu ankommenden zurückrollt. Diese Erscheinung des Zurückrollens der Wellen heißt die Widersee. So kommt es, daß sich die Wellen bei der Brandung häufig bis zu einer Höhe von 15, 20 ja 100 Fuß erheben. Bei flachen Ufern, oder wenn die See stark bewegt ist, werden die Wellen häufig aufs Land geworfen. Das durch die Brandung hervorgebrachte große Getöse wird besonders bei der Stille der Nacht Meilen weit vernommen und unterscheidet sich von dem gewöhnlichen Brausen des Meeres durch einen volleren Ton. Den Seeleuten ist die Brandung besonders gefährlich, indem jedes größere oder kleinere Fahrzeug, welches in sie hineingeräth, fast in allen Fällen zertrümmert wird. Es sind die Fälle nicht selten, daß Schiffe durch die Brandung geradezu umgekehrt worden sind, so daß das obere Ende des Mastes im Sande steckte, während der Kiel über das Wasser ragte. Am stärksten ist die Brandung in den tropischen Gegenden, besonders im Indischen Oceane. Ueber das Theoretische der Wellenbewegung verweisen wir auf den Artikel Wellen.

Seit den ältesten Zeiten ist es eine den Schiffern bekannte Thatsache, die jedoch von den Physikern als unglaublich wiederholt in Zweifel gezogen worden, daß das Oel den Wellenschlag des Meeres zu besänftigen vermöge. Muncke *) äußert sich darüber wie folgt: „Das interessante Phänomen, welches unmöglich in einer eigentlichen Niederdrückung der Wellen bestehen kann, kommt im wesentlichen auf zwei Wirkungen hinaus, erstlich, daß die gekräuselte Oberfläche des Meeres durch ausgegossenes Oel ruhiger und somit durchsichtiger wird, weswegen die Fischer dieses Mittel anwenden, um Gegenstände unter dem Wasser zu sehen, und zweitens, daß Schiffe, wenn sie im Begriffe sind zu stranden oder wenn sie über eine Untiefe wegfahren müssen, Oel ausgießen, dadurch eine augenblickliche Besänftigung des Meeres bewirken und sowohl die Untiefe leichter passiren, als insbesondere auch durch eine hohe Welle möglichst weit auf den flachen Strand gesetzt werden, damit die nachkommenden Wellen das Schiff weniger beschädigen, insbesondere aber die Menschen im Augenblicke des Rückganges der Welle und bis zur Ankunft einer neuen sich auf das Land retten. Einige, namentlich Patterson und Achard leiten diese Wirkungen aus den einander aufhebenden verschiedenen (nicht gleichzeitig und ungleich starken) Schwingungen der ungleichen Flüssigkeiten her, was aber dadurch widerlegt wird, daß die Oeldecke viel zu dünn ist, um in eigenthümliche Schwingungen versetzt zu werden, viel weniger aber, daß diese die starken Oscillationen der Wasserwellen aufheben sollten. Müller dagegen und insbesondere Weber messen dieselben theils einer geringen Bindung des Wassers durch das zähere Oel, hauptsächlich aber dem Umstande bei, daß der Wind von der glatten Wasserfläche abgleitet, mithin die kleinen kräuselnden Wellen auf den größeren, welche die Kraft des Ganzen erhöhen, nicht erzeugen, außerdem aber vorzüglich zur Erhaltung der einmal gebildeten Wellen nicht weiter wirken kann, wonach diese, wenn sie nicht fortwährend gehoben werden, nothwendig zunehmend sinken müssen."

*) Gehler's physik. Wörterb. N. B. Bd. VI. S. 1754.

5) Meeresboden. In dem von der Meerestiefe handelnden Abschnitte haben wir bereits gesehen, daß der Meeresboden sehr uneben ist. Es fragt sich nun noch, von welcher Beschaffenheit derselbe sei, überhaupt wie es auf dem Grunde des Meeres aussehen mag.

Mit Hülfe des Apparates von Brooke (s. Abtheilung 2. dieses Art.) hat man Proben des Meeresgrundes aus bedeutenden Tiefen emporgeholt. Dieselben, welche scheinbar aus Thon bestanden, wurden getheilt und einen Theil erhielt Professor Bailey in West-Point, den anderen Professor Ehrenberg in Berlin. Bailey untersuchte den Thon und fand unter dem Mikroskope alle Proben angefüllt mit mikroskopischen Muschelschaalen, aber nicht eine Spur von Sand oder Kies. Nach ihm sind dieselben vorzugsweise zusammengesetzt aus vollkommenen, kleinen, kalkhaltigen Muscheln (Foraminiferae) und enthalten auch eine kleine Anzahl kieselhaltiger Muscheln (Diatomaceae). Er hält es nicht für wahrscheinlich, daß diese Thiere in den Tiefen gelebt haben, wo sich ihre Schaalen vorfinden, sondern daß sie die Gewässer nahe an der Oberfläche bewohnen und daß sich, wenn sie absterben, ihre Schaalen auf dem Grunde ablagern *). Eben so belehren uns Ehrenberg's Untersuchungen **) (wobei wir zugleich auf die Mikrogeologie von Ehrenberg, Leipzig 1854, aufmerksam machen, als auf das umfassendste Werk irgend einer Literatur über die Gesteinbildende Thätigkeit der Organismen), daß auch in einer Tiefe von 10800, 12000 und 12900 Fuß zahlreiche organische Formen zur Bildung von Gesteinsmaterial beitragen. Er fand die Proben kalkhaltig und der Kalkgehalt besteht überwiegend aus kleinen Thierschaalen, nur selten aus kleinen vereinzelten Kalkkrystallen. Zuweilen ist der Boden Quarzsand und besteht immer aus glatten, rundlichen, gerollten Quarzkörnern. In großen Tiefen findet sich auch Glimmer beigemischt, in geringen Tiefen kleine Fragmente von zelligem Bimsstein. Die kleinen Schaalthiere finden sich im tiefen Meeresgrunde nicht als leere, todte, ausgefüllte Schaalen, sondern sie sind oft thierisch erfüllt, und Ehrenberg glaubt, daß in 12000 Fuß Tiefe am Meeresboden nicht nur ein thierisches, sondern auch ein pflanzliches Leben existirt. An Masse überwiegen die Polythalamien, an Zahl der Arten Polygastrica und Polycistina. Letztere sind in geringeren Tiefen seltener oder fehlen, und nehmen in größerer Tiefe zu. Die Gesammtzahl der beobachten Formen aus der Tiefe beträgt 150 Arten; an Lebensformen aus der Tiefe von über 6000 Fuß 120 Arten. Unter diesen sind 2 lebensfähige Arten von Pflanzen in rasenartiger Entwickelung, deren eine dunkelschwarzbraun gefärbt und weit verbreitet ist. Der kalkhaltige tiefe Meeresboden hat seinen thierischen Formen nach manche Aehnlichkeit mit der Kreidebildung und in dem Aeußeren mit Thon, ist aber weder Kreide noch Thon, sondern ein biolithischer Mergel aus organischen Kalkschaalen, organischen Kieselschaalen und etwas unorganischem Quarzsande und Mulm, was am meisten Aehnlichkeit hat mit den Mergeln von Caltanisetta, Oran und Aegina, ohne damit übereinzustimmen. Die Annahme von Lyell ***), daß der Salzgehalt

*) Maury a. a. O. S. 201. Silliman, Americ. Journ. [2] T. XVII. Berl. Akad. Ber. 1854. S. 191.

**) Berliner Akad. Bericht. 1854. S. 54. 236. 305; 1855. S. 173. Liebig und Kopp's Jahresbericht. 1854. Gießen 1855, S. 883.

***) Lyell's Principles of Geology. London 1853. p. 334.

mit der Tiefe des Meeres zunehme, wird durch Ehrenberg's Beobachtungen widerlegt. Der Boden wird mit keiner Salzkruste bedeckt, noch sind die Erden sehr mit Salz erfüllt, vielmehr findet sich ein fast unsalziger lebenreicher Schlamm- und Sandgrund. H. C.

Meniscus, s. Linsenglas S. 545 und Barometer Bd. I. S. 728.

Mennige, s. Blei.

Mercur, s. Planeten.

Meridian (v. d. lat. meridies, Mittag) oder Mittagskreis eines Ortes der Erde, heißt derjenige größte Kreis der Erdkugel, dessen Ebene man sich zugleich durch beide Pole und durch den betreffenden Ort der Erde gelegt vorstellt. Der Meridian oder Mittagskreis am Himmelsgewölbe ist derjenige größte Kreis der scheinbaren Himmelskugel, dessen Ebene durch die beiden Pole und durch das Zenith und Nadir des Beobachters geht. Diese beiden Ebenen, Meridianebenen genannt, fallen zusammen und stehen an dem Orte des Beobachters auf dem Horizonte und eben so auf dem Aequator senkrecht, jene auf dem der Erde, diese auf dem des Himmelsgewölbes. Die Durchschnittslinie der Meridianebene und des Horizontes heißt Mittagslinie, wird aber wohl auch schlechthin Meridian genannt. Der nordwärts gerichtete Theil der Mittagslinie zeigt von dem Beobachtungsorte aus nach Norden, der südwärts gerichtete nach Süden; eine auf der Mittagslinie an dem Beobachtungsorte senkrecht stehende, in dem Horizonte liegende Linie zeigt auf der Seite, auf welcher die Gestirne aufgehen, nach Osten, auf der anderen, auf welcher dieselben untergehen, nach Westen.

Jeder Stern steht dann am höchsten über einem Orte der Erde, wenn er bei seinem täglichen scheinbaren Umlaufe um die Erde oberhalb durch den Meridian des Ortes geht. Man sagt dann: er culminirt. Die näheren Verhältnisse der Culmination finden sich in dem Art. Culmination Bd. I. S. 1015. Da dies auch in Bezug auf die Sonne gilt, und diese Mittag macht, wenn sie ihren höchsten Stand erreicht hat, so ist für alle Orte unter demselben Meridiane zu gleicher Zeit Mittag. Eben daher hat dieser größte Kreis seinen Namen.

Da die Sonne ferner den Schatten der Gegenstände auf der Erde bewirkt, und dieser stets nach der Seite fällt, welche vom Gegenstande aus gerechnet der Sonne abgewendet ist, so wird offenbar der Schatten eines Körpers gerade in die Mittagslinie fallen, sobald die Sonne durch den Meridian des Ortes geht, an welchem der Körper steht. Hierdurch erhält man ein Mittel, die Culmination der Sonne zu erkennen. Schon die Alten pflegten Säulen aufzurichten, hinter welchen in der Richtung nach Norden die Mittagslinie auf dem Erdboden bezeichnet war, und sie erkannten die Zeit des Mittags aus dem Zusammenfallen des Schattens mit dieser Linie. Solch ein Zeiger, der sich übrigens bei jeder Sonnenuhr findet, hieß ein Gnomon (v. d. griech. γνώμων, Zeiger).

Da im Art. Gnomon auf Art. Meridian verwiesen ist, so müssen wir hier noch einiges Nähere mittheilen. Der Gnomon bestand aus einem geraden Stabe oder aus einer spitzen Säule, auf einer horizontalen Ebene vertical stehend. Die Höhe des Gnomons mußte möglichst groß sein, weil dann die Schattenspitze sich möglichst schnell bewegt und dann die Beobachtung mit größerer Genauigkeit ausgeführt werden konnte. Eine scharfe Bestimmung war hierbei jedoch immer

noch nicht möglich, da der Halbschatten störend wirkte. Deshalb ist es vortheilhaft, an der höchsten Spitze des Gnomons eine dünne Metallplatte anzubringen mit einer kleinen runden Oeffnung und statt des Schattens selbst das durch diese Oeffnung im Schatten erzeugte Sonnenbild zu beobachten. So verfuhr z. B. Paul Toscanelli, der im Jahre 1467 in der Kuppel der Kathedrale zu Florenz in einer Höhe von 277 Fuß über dem Fußboden der Kirche eine Oeffnung anbringen ließ, durch welche das Sonnenbild auf den gegenüberliegenden Fußboden der Kirche fiel. Gassendi errichtete 1636 einen Gnomon von 51 F. Höhe zu Marseille in der Kirche des Oratoriums; Ignatio Danti von 67 Fuß Höhe zu Bologna in der Kirche des heiligen Petronius; Bianchini einen von 62 und einen zweiten von 75 Fuß Höhe zu Rom in der Karthäuserkirche; Sully und le Monnier von 80 Fuß zu Paris in der Kirche des heiligen Sulpitius; Cesaris und Reggio im Jahre 1786 zu Mailand in der Kathedrale. Nach dem Berichte des Jesuiten Gaubil hat bereits 1100 Jahre vor unserer Zeitrechnung der Kaiser Tschu-Kong in China die Höhe der Sonne in ihren beiden Solstitien mittelst eines Gnomons beobachtet und zwar in der heutigen Stadt Honan-Fu in der Provinz Honan. Der Gnomon war 8 chinesische Schuh hoch. Im Jahre 320 v. Chr. beobachtete der Grieche Pytheas zu Marseille die Sonnenhöhe zur Zeit des Sonnensolstitiums an einem Gnomon von 120 Fuß Höhe. Unter Augustus wurde in Rom der 117 römische Fuß lange Obelisk, den Sesostris 967 v. Chr. in Aegypten errichten ließ, als Gnomon auf dem Marsfelde aufgestellt.

In neuerer Zeit hat man, da bei einer Oeffnung der Halbschatten immer noch störend wirkt, die durch die Mitte der kleinen kreisförmigen Oeffnung gehende Meridianebene durch einen verticalen Faden bezeichnet und die Beobachtung des Sonnenbildes an einer verticalen Wand gemacht. Einen solchen Gnomon nennt man Filar-Gnomon und Bohnenberger giebt dazu folgende Einrichtung an. Man befestigt ein Messingblech ungefähr mit der Weltaxe parallel, senkrecht auf die Meridianebene oberhalb eines nach Süden gelegenen Fensters. Diese Platte hat ein Loch von 1 Linie Durchmesser, an dessen oberem Theile eine Kerbe ist, die den oberhalb auf der Platte befestigten Metallfaden durchläßt. Der Faden geht im Zimmer nach der Richtung der Mittagslinie zu der gegenüberliegenden Wand hin, wo eine gegen den Meridian senkrechte Schraube befestigt ist, welche in einer Kerbe den Metallfaden aufnimmt, der vertical herabhängend durch ein Gewicht gespannt wird. Der Faden wird nun — indem man die Stellung der Schraube, wenn es nöthig ist, ein wenig ändert — in die Mittagslinie gebracht, und hinter dem Faden eine weiße Tafel aufgestellt, um das Vorübergehen des Sonnenbildes vor dem verticalen Faden zu beobachten.

Ein Ort, welcher ost- oder westwärts von einem anderen liegt, hat einen anderen Meridian als dieser. Sämmtliche Meridiane werden von dem Aequator und den diesem parallelen Kreisen, den sogenannten Parallelkreisen oder Breitenkreisen, geschnitten, und es liegt daher nahe, die Meridiane, wenn man einen derselben als Anfangsmeridian annimmt, nach den verschiedenen Abständen ihres Durchschnittspunktes mit dem Aequator von dem Durchschnittspunkte dieses Meridians mit dem Aequator zu zählen. Es ist alsdann nur noch näher zu bestimmen, welchen Meridian man als Anfangsmeridian nehmen will. So lange man sich mit Geographie beschäftigt hat, ist in dieser Beziehung keine Einigkeit

erreicht worden. Spanien allein rechnet von 7 verschiedenen Meridianen an, nämlich von Cadix, Carthagena, Insel Leon, Collegium der Adeligen zu Madrid, Punta de la Galera auf der Insel Trinidad, Teneriffa und Ferro. Viele holländische Karten nehmen als Anfangsmeridian den an, welcher über den Pic von Teneriffa geht und 18° 59′ 52″ westlich von Paris angenommen wird. Einige ältere portugiesische Karten setzen den Anfangsmeridian auf die azorische Insel Tereeira, 9° 32′ 42″ westlich von Ferro, weil früher die magnetische Linie ohne Abweichung hier hindurchging. Aus demselben Grunde nahm Mercator die Insel Corvo an. Andere ältere holländische Karten legen den Anfangsmeridian auf die Insel del Fuego oder St. Phillipp beim grünen Vorgebirge. Am meisten in Gebrauch als Anfangsmeridian ist derjenige, welcher zugleich die alte und neue Welt am bequemsten auf zwei Halbkugeln vertheilt, nämlich der Meridian über die Insel Ferro, 19° 57′ 30″ westlich von Paris, aber zur größeren Bequemlichkeit der Rechnung dient derjenige, welcher 2′ 30″ westlich von Ferro liegt, so daß sich also Paris genau 20° östlich von demselben befindet. Diese Annahme wurde in Frankreich von einer Gesellschaft Mathematiker, welche der Cardinal Richelieu zusammenberufen hatte, vorgeschlagen und durch Ludwig XIII. am 25. April 1634 zur gesetzlichen Bestimmung erhoben *). Die Astronomen zählten meistens die Erdmeridiane von ihren Sternwarten aus; allein jetzt beziehen die Astronomen des Continents meistens ihre Beobachtungen auf den Pariser Meridian, die Engländer auf den von Greenwich, welcher 2° 20′ 23″ westlich von Paris liegt. Letzterer Meridian liegt meistens den Seekarten zu Grunde. Eine Angabe des Anfangsmeridians ist auf jeder Karte nothwendig. Von dem Anfangsmeridiane aus theilt man den Aequator in 360 gleiche Theile (Grade und zwar Längengrade) und zählt entweder östlich und westlich bis 180° oder nur östlich bis 360°. Das Letztere ist allemal anzunehmen, wo eine genauere Angabe der Richtung fehlt, nach welcher gezählt worden ist.

Verschieden von der durch die Erdmeridiane bestimmten geographischen Länge eines Ortes ist die astronomische Länge eines Gestirnes, indem diese auf der Ekliptik und nicht auf dem Aequator gemessen wird (vergl. Artikel Breite, astronomische und geographische Bd. I. S. 904 und 905), während das Letztere bei der Reetaseension oder der geraden Aufsteigung eines Gestirnes geschieht.

Die Bestimmung der geographischen Länge eines Ortes ist nichts anderes, als die Angabe nach Graden, Minuten, Secunden u. s. f. des Bogens, um welchen der Durchschnittspunkt des Aequators mit dem Meridiane des zu bestimmenden Ortes von dem Durchschnittspunkte des Aequators mit dem als Anfangsmeridian angenommenen Meridiane entfernt ist, oder des Winkels, unter dem sich die Ebenen jener beiden Meridiane schneiden. Der Winkel, unter welchem sich überhaupt irgend welche zwei Meridiane schneiden, heißt die Meridiandifferenz (lat. Unterschied der Meridiane) der Orte unter jenen Meridianen.

*) Nach den Beobachtungen de Borda's und Pingre's (vergl. v. Zach's Monatliche Correspond. XV. und XVI.) liegt die Ostspitze Ferro's 20° 17′ und ihre Westspitze 20° 30′ westlich von dem Pariser Meridiane, so daß der Anfangsmeridian 30′ östlicher als die Westspitze ins offene Meer fiele.

Ist die Länge eines Ortes A bekannt und gleich L, und eben so die Meridiandifferenz zwischen diesem Orte und einem zweiten B gleich M, so giebt sich hieraus die Länge von B, welche L' sein möge, nämlich, wenn B östlich von A liegt:

$$L' = L + M$$

und wenn B westlich von A liegt:

$$L' = L - M.$$

Ist L = 0, d. h. liegt A auf dem Anfangsmeridiane, so ist die Meridiandifferenz M unmittelbar die Länge von B, östlich, wenn dieselbe positiv, westlich, wenn sie negativ ist. Alle Längenbestimmungen sind Bestimmungen von Meridiandifferenzen.

Die Beobachtung der Meridiandifferenzen selbst ist vielen Schwierigkeiten unterworfen. Es bieten sich hierzu im Allgemeinen zwei Wege dar, nämlich durch geodätische und astronomische Operationen.

Bei der geodätischen Bestimmungsmethode würde man directe Messungen auszuführen haben. Auf der festen Erdoberfläche sind derartige Operationen allerdings möglich, aber es läßt sich durch dieselben nie eine große Genauigkeit erreichen, wie sich leicht übersehen läßt, wenn man bedenkt, welche Unebenheiten auf der Erdoberfläche vorkommen, wie zusammengesetzt die ganze Arbeit und wie langwierig sie sein müßte, und endlich wie ungewiß wir selbst noch in Bezug auf die eigentliche Gestalt der Erde sind. Wir verweisen deshalb und wegen der geodätischen Messungen, die durch die sogenannte Triangulation geschehen, auf Art. Erde Bd. II. S. 875 bis 886; bemerken hier nur, daß auch im einfachsten Falle einer rein geodätischen Messung, d. h. wenn die Entfernung zweier genau in der Richtung von Ost nach West zu einander liegender Orte in Meilen ausgemessen wäre, man diese wieder in Graden 2c. ausdrücken müßte, daß die Anzahl der Meilen, welche auf einen Grad gehen, aber nach der geographischen Breite verschieden ist, worüber Art. Erde Bd. II. S. 884 u. S. 893 ebenfalls die nähern Angaben enthält.

Auf dem Meere lassen sich directe Messungen gar nicht vornehmen; da aber gerade für die Schiffer auf offener See eine Bestimmung der geographischen Länge und Breite von der allergrößten Wichtigkeit ist, so haben die seefahrenden Nationen auf alle mögliche Weise, selbst durch bedeutende Belohnungen einfache Methoden zu gewinnen gesucht, die Meridiandifferenz zu bestimmen. Philipp II. von Spanien setzte schon 1698 einen Preis für Auffindung einer solchen Methode aus; Holland bot 50000 Reichsthaler; unter der Königin Anna von England wurde von dem Parlament eine Belohnung von 10000 Pfund Sterling für denjenigen bewilligt, dessen Methode die Länge bis auf 1 Grad genau bestimmen, 15000 Pfd. St. für denjenigen, der nicht mehr als um 40 Minuten und 20000 Pfd. St. für den, welcher sich um nicht mehr als $^1/_2$ Grad irren würde. Mit einer einzigen Methode reicht heute der Seemann noch nicht aus, seinen Ort genau zu bestimmen, so daß er immer so viel als möglich Mittel, die sich in ihren Ergebnissen gegenseitig controlliren, zu benutzen gezwungen ist. Es führt uns dies zu dem zweiten oben angegebenen Wege, nämlich zu der Bestimmung der Meridiandifferenz durch astronomische Operationen.

Das Wesentliche der astronomischen Methode beruht auf Zeitbestimmung und das wichtigste Instrument hierbei ist mithin eine genaue Uhr, worüber wir auf Art. Chronometer Bd. I. S. 972 verweisen.

Stellt man sich den scheinbaren Lauf der Sonne — oder irgend eines anderen Sternes — um die Erde vor, welcher binnen 24 Stunden zurückgelegt wird, so ist klar, daß je mehr nach Westen ein Ort liegt, desto später die Sonne durch seinen Meridian gehen werde, oder daß, während z. B. die Sonne im Meridiane eines östlich von ihm gelegenen Ortes steht, sie für ihn noch östlich, und wenn sie im Meridiane eines westlich gelegenen Ortes steht, sie für ihn westlich von dem Meridiane abweichen müsse. Die Sonne stehe jetzt im Meridiane von Petersburg, so wird sie erst geraume Zeit nachher im Meridiane von Berlin stehen, und später im Meridiane von Paris, und noch später in dem von Lissabon rc., nach 24 Stunden aber steht sie wieder in dem Meridiane von Petersburg. Da nun der scheinbare Gang der Sonne genau gleichmäßig ist, und sie in 24 Stunden rund um die Erde geht durch alle Meridiane, deren es 360 giebt, wenn man sie Ein Grad von einander abstehend nimmt, so werden von der Sonne folglich $\frac{360}{24} = 15$ Grad in Einer Stunde zurückgelegt. Gesetzt, man befinde sich an einem Orte A und besitze eine sehr genau gehende Uhr, welche also 12 Uhr zeigte in demselben Augenblicke, in welchem die Sonne durch den Meridian des Ortes A ging. Man verändere nichts im Gange der Uhr und begebe sich vorwärts nach dem Orte B, so wird auch hier nach wie vorher die Uhr auf 12 stehen in dem Augenblicke, in welchem die Sonne durch den Meridian von A geht, aber offenbar wird dann die Sonne noch nicht in dem Meridiane von B stehen, sondern hier erst nach einiger Zeit, wenn die Uhr schon über 12 hinausgegangen ist. Gesetzt, die Sonne gehe durch den Meridian von B um 1 Uhr nach der mitgebrachten Uhr, so folgt hieraus nach dem Früheren, daß die beiden Orte A und B eine Meridiandifferenz von 15 Grad haben.

Diese Methode der Bestimmung der Meridiandifferenz mittelst tragbarer Uhren scheint hiernach äußerst leicht zu sein. Der aus Greenwich z. B. abfahrende Schiffer nimmt eine genau richtig nach Greenwicher Zeit gehende Uhr mit, welche also immer auf 12 Uhr zeigt, sobald in Greenwich Mittag ist; befindet er sich nun auf irgend welchem Punkte der Erde, so darf er nur den Stand der Sonne oder den irgend sonst eines Sternes beobachten, um daraus auf die Zeit des Ortes, an dem er sich befindet, zu schließen, und die so gefundene Zeit $= Z'$ Stunden mit der von der Greenwicher Uhr angegebenen Zeit $= Z$ Stunden vergleichen. Die Meridiandifferenz des Ortes, an welchem er sich befindet, und von Greenwich ist dann $15\,(Z - Z')$ Grad westlich, wenn $Z > Z'$ und östlich, wenn $Z < Z'$ ist. Die große Schwierigkeit aber, welche noch zu überwinden bleibt, ist die Herstellung von Uhren, welche Wochen, Monate und Jahre lang mit gleicher Genauigkeit gehen, worüber wir nochmals auf Art. Chronometer verweisen, und nur noch bemerken, daß man bei Längenbestimmungen zur See gut thut, mehrere Chronometer zu benutzen. Auf dem festen Lande, wenn an jedem der Orte, deren Meridiandifferenz bestimmt werden soll, eine genau gehende Uhr sich befindet, welche an jedem Orte zur Zeit der Culmination der Sonne 12 Uhr zeigt, braucht man nur die Differenz im Stande der Uhren zu ermitteln, da dieser sich bei genau gehenden Uhren gleich bleiben wird. Es kömmt also nur darauf an, die Uhren zu vergleichen. Ein Mittel wäre die eine Uhr zur anderen zu bringen, ohne daß eine Störung im Gange derselben eintritt. Dies bedarf selbstverständlich große

Vorsicht. Es bietet sich indessen ein anderer Weg dar, bei welchem dies nicht nöthig ist, nämlich daß man an jedem der beiden Orte irgend ein Phänomen beobachtet, welches an beiden zu derselben Zeit eintritt, und den Augenblick aufzeichnet, in welchem dasselbe sichtbar wurde; die Verschiedenheit der Zeitangaben wird alsdann die Meridiandifferenz beider Orte angeben. Da Himmelserscheinungen sehr weit sichtbar sind, so werden gewöhnlich diese zur Längenbestimmung entfernter Orte benutzt, und da dieselben im Voraus nach ihrem Eintreten bekannt sind, so können die Zeitpunkte, zu welchen sie eintreten, für einen bestimmten Ort, z. B. für Greenwich, in Tafeln berechnet werden. Der Reisende, der diese Tafeln mit sich führt, braucht nur zu beobachten, welche Stunde, Minute und Secunde die Uhr des Ortes, an dem er sich befindet, in dem Augenblicke anzeigt, wo das Phänomen eintritt, und kann dann berechnen, wie groß die Meridiandifferenz von Greenwich ꝛc. sei. Es fragt sich nun, welches sind derartige Phänomene? 1) Mondfinsternisse, 2) Verfinsterungen der Jupiterstrabanten, 3) Lichtsignale und neuerdings sind noch dazu gekommen 4) Signale mittelst der elektrischen Telegraphen.

1) Der Anfang und das Ende der Mondfinsternisse wird überall auf der Erde, wo die Verfinsterung sichtbar ist, zu gleicher Zeit bemerkt, und für die meisten größeren Orte, in denen Sternwarten sich befinden, haben die Astronomen schon lange voraus die Augenblicke berechnet, in welchen dieser und jener bestimmte Flecken des Mondes zuerst von dem Schatten der Erde berührt wird. Wenn nun ein Seefahrer einen dieser Momente der Verfinsterung genau beobachtet, und dabei die Zeit, welche ihm seine Uhr angiebt, z. B. 12 Uhr 11 Minuten, mit derjenigen vergleicht, die zu gleicher Zeit, z. B. die Pariser Uhr zeigen müßte, z. B. 1 Uhr 23 Min.; so weiß er den Zeitunterschied von Paris und seinem Schiffe, in diesem Falle 1 St. 12 Min. und folglich auch die Meridiandifferenz, nämlich 18 Grad westlich von Paris. Ein wesentlicher Vortheil ist, daß hierbei keine vollkommene astronomische Uhr erforderlich ist, wofern sie nur genau nach dem Mittag des Ortes gerichtet wird, an dem man sich befindet, weshalb der Gang der Uhr vorher zu prüfen ist. Da der Schatten der Erde auf dem Monde nicht scharf begrenzt, sondern von einem verwaschenen Rande umgeben ist, der sich allmälig verliert, so kann das Ergebniß einer solchen Beobachtung nicht scharf sein, wenigstens nicht bis auf die Secunde genau. Ueberdies ist das Eintreten der Mondfinsternisse nicht häufig, so daß man dieselben nur vorkommenden Falls als Controlle benutzt, namentlich auf Sternwarten.

2) Die Verfinsterung der Jupiterstrabanten sind gleichfalls im Voraus für alle großen Orte, z. B. Paris, Berlin ꝛc. berechnet. Ein Vortheil ist hier, daß, da der Jupiter vier Monde hat, sich fast alle Nächte, falls der Jupiter natürlich überhaupt sichtbar ist, eine — oft auch mehrere — Finsterniß einstellt. Die Ermittelung der Meridiandifferenz ist hier wie bei den Mondfinsternissen; indessen auch keiner besonderen Genauigkeit fähig, da man den Anfang und das Ende der Verfinsterung wegen der großen Entfernung nicht beobachten kann.

3) Als Lichtsignale hat man Verschiedenes benutzt.

a) Pulversignale bestehen in dem Losbrennen einer kleinen Menge Schießpulvers des Nachts in freier Luft und sind wenigstens für solche Orte

brauchbar, die nicht allzuweit von einander entfernt sind *). Zwei Beobachter kommen mit einander überein, daß der eine auf dem Berge A, und der andere auf dem Berge B, welche beide von einander sichtbar sein müssen, in einer gewissen Nacht und zu einer bestimmten Zeit ein solches Signal geben wolle. Jeder Beobachter hat seine Uhr nach dem Meridiane seines Berges, z. B. nach dem Augenblicke, in welchem ein bestimmter Stern, über den sie übereingekommen sind, durch den Meridian geht, gestellt, so daß sie z. B. in dem Augenblicke der Culmination dieses Sternes genau 12 Uhr zeigt. Beide merken nun genau die Zeit an, sowohl wenn die Pulvermassen abgebrannt, als wenn sie beobachtet worden. Hat nun z. B. der in A, wenn er seine Masse anzündet, 10 Uhr 4 Minuten, und der in B, wenn er dies Abbrennen bemerkt, 10 Uhr 14 Min., so ergiebt sich ein Zeitunterschied von 10 Minuten, welche B vor A voraus hat, und folglich ist B $2^1/_2{}^0$ östlicher gelegen. Ein Pulverquantum von 4 bis 6 Loth hat man auf 8 und mehrere Meilen weit bei Nacht mit unbewaffnetem Auge abbrennen sehen, 12 bis 16 Loth über 30 Meilen weit. Mit einem Signale begnügt man sich in solchem Falle nicht, sondern umsichtig wird an dem einen und an dem anderen Orte etwa von 5 Minuten zu 5 Minuten ein solches Signal gegeben, und selbstverständlich wählt man möglichst dunkle und nebelfreie Nächte. Auch ist es zweckmäßig, bei der Bestimmung der Meridiandifferenz zweier Orte die Signale an einer Zwischenstation zu geben, da man hierdurch die Bestimmung für zwei entferntere Orte ermöglicht, jedenfalls aber das Aufflammen sicherer wahrnimmt. Solche Pulversignale, welche auf der Schneekoppe des Riesengebirges abgebrannt und zu Prag auf dem Lorenziberge beobachtet wurden, hat man zur Bestimmung der Länge dieser beiden Punkte benutzt. Eben so hat man sie angewandt zur Bestimmung der Länge von München, Wien und Ofen; desgleichen 1824 in Beziehung auf Tübingen, Mannheim, Speier und Straßburg, ferner zur Bestimmung der Länge von Paris und Greenwich.

b) Daß man in gleicher Weise sich der Raketen bedienen kann, versteht sich von selbst, sie bieten sogar noch den Vortheil, daß man, da sie 8000 bis 9000 Fuß hoch steigen, auf größere Entfernungen signalisiren kann, ja, wenn man sie auf Bergen steigen läßt, bis auf 50 bis 60 Meilen. Am 6. Mai 1822 wurde auf diese Weise die Meridiandifferenz von Wien und Neustadt bestimmt.

c) Auch das Heliotroplicht (s. Art. Heliotrop Bd. III. S. 787) läßt sich hierzu benutzen, wenn man vor dem Spiegel eine ausgeschnittene Scheibe durch ein Uhrwerk sich drehen läßt, so daß etwa alle halbe oder ganze Secunden das Licht abwechselnd erscheint, oder verschwindet **).

4) Mittelst der elektrischen Telegraphen kann man zu jeder Zeit Signale geben. Wir verweisen auf Art. Telegraphie und bemerken hier nur, daß man neuerdings die Sternwarten zu Paris und Greenwich in die erforderliche Verbindung gesetzt hat.

Außer den vorstehenden Mitteln, die Meridiandifferenz zu bestimmen, die sofort die Zeitdifferenz angeben, hat man noch andere Phänomene benutzt, die

*) v. Zach, Monatl. Corresp. Bd. X. S. 130; Bd. XXVII. S. 287.

**) Astron. Nachrichten von Schumacher Nr. 351 und 352; desgl. Egen ebenda Nr. 171 und 172.

aber noch andere Berechnungen erfordern. Es sind dies 1) Sonnenfinsternisse, 2) Sternbedeckungen, 3) correspondirende Mondsculminationen und 4) Monddistanzen.

1) Die Sonnenfinsternisse treten nicht allenthalben gleichzeitig ein (s. Art. Sonne), erfordern wegen der Parallaxe des Mondes noch eine besondere Berechnung, gewähren aber, da sich namentlich das Ende der Finsterniß mit großer Präcision beobachten läßt, genaue Resultate. Wegen ihrer Seltenheit gilt von ihnen dasselbe, was oben bei den Mondfinsternissen bemerkt wurde.

Die Durchgänge des Merkur und der Venus durch die Sonne gewähren dieselben Mittel, sind aber noch seltener, mögen hier aber der Vollständigkeit wegen nicht unerwähnt bleiben.

2) Die Sternbedeckungen, welche hier in Betracht kommen können, betreffen die Bedeckung der Planeten und Fixsterne durch den Mond, von denen die letzteren sehr häufig vorkommen. Die Bedeckung eines Planeten durch einen anderen gehört zu den allergrößten Seltenheiten. Da der Mond der Erde im Vergleich mit den übrigen Himmelskörpern so nahe steht, daß sein Stand für zwei ziemlich weit aus einander liegende Punkte der Erdoberfläche in ein und demselben Augenblicke sehr verschieden erscheint, so hat man bei einer eintretenden Bedeckung wiederum die Parallaxe zu berücksichtigen. Die Bedeckung läßt sich voraus berechnen, und in den astronomischen Ephemeriden pflegt man dieselben anzuführen. Die Beobachtung eines besonderen Eintritts läßt sich mit großer Schärfe machen, und daher benutzt man dieselben eben zu Bestimmungen der Meridiandifferenz. Auf der See ist diese Methode nicht anwendbar.

3) Correspondirende Mondsculminationen stellt man mit einem genau berichtigten Mittagsfernrohre an und berechnet dann die Rectascension des Mondes. Mit Hülfe der für einen Ort berechneten Ephemeriden ermittelt man die Zeitdifferenz und hieraus die Meridiandifferenz. Daß man durch Beobachtung correspondirender Höhen in Ermangelung eines Mittagsfernrohres sich helfen kann, um die Zeit der Culmination zu finden, bedarf kaum der Erwähnung *).

4) Monddistanzen, d. h. die scheinbaren Abstände des Mondes von der Sonne, oder einem Planeten, oder einem Fixsterne, kann man für jeden Tag und für jede Stunde im Voraus berechnen und dergleichen Berechnungen sind schon längst für die Meridiane bekannter Sternwarten bekannt gemacht worden. Der Seemann bestimmt den Winkelabstand des Mondes und eines bestimmten Sternes mit Hülfe des Sextanten, während zwei Gehülfen die Höhe des Mondes und des Sternes messen. Gewöhnlich macht man 4 bis 5 Beobachtungen nach einander, aus denen man dann das Mittel nimmt. Bei jeder Beobachtung wird natürlich die Zeit bestimmt, und indem man aus den Tafeln ersieht, wie groß zu derselben Zeit an der Sternwarte, für welche die Tafeln berechnet sind, die Monddistanz gewesen sein würde, hat man die zur Berechnung der Meridiandifferenz nöthigen Data, wobei man die Parallaxe des Mondes wiederum nicht unberücksichtigt lassen darf.

Die ersten vollständigen Mondstafeln, in welchen der Lauf, die Stellung

---

*) Schumacher's astron. Nachrichten. Bd. I. S. 7. 356; Bd. II. S. 17.

des Mondes gegen die Sonne, die bekanntesten Fixsterne und gegen die Planeten auf jeden Tag, jede Stunde und Minute im Jahre für einen bekannten Meridian berechnet ist, verdanken wir Tobias Mayer im Jahre 1755, nachdem schon lange vorher dahin zielende Vorschläge gemacht worden waren *). Diese Mayer'schen Tafeln wurden später durch die Berechnungen anderer Astronomen, namentlich Laplace's und Bürg's **) noch mehr vervollkommnet. Die Methode liefert genaue Resultate, wenn auch nicht so scharfe wie die der Sternbedeckungen, und hat den großen Vorzug, daß sie mit Ausnahme der Zeit des Neumondes jederzeit ausführbar ist.

Mit der Berechnung der Meridiandifferenz aus Monddistanzen hat man sich vielfach beschäftigt, um den Seeleuten dieselbe möglichst zu erleichtern, obgleich es nur auf die Auflösung zweier sphärischer Dreiecke ankommt, welche einen Winkel gemein haben, dessen einschließende Seiten veränderlich sind. Dennoch fehlt es noch an einer Methode, welche vollständige Genauigkeit und Leichtigkeit vereinte, weil man auch auf Temperatur und Barometerstand, da diese auf die Refraction Einfluß ausüben, Rücksicht nehmen müßte, was bisher nicht geschehen ist; eben so pflegt man keine Correction wegen der Abplattung der Erde anzubringen, wiewohl dadurch ein Fehler von 4 bis 5 Meilen herbeigeführt werden kann ***).

Ein Verzeichniß der geographischen Länge einer großen Anzahl Stellen der Erdoberfläche enthält Art. Erde Bd. II. S. 894.

Kömmt es darauf an, die Mittagslinie an einem bestimmten Orte zu verzeichnen, was in vielen Fällen nöthig ist, z. B. bei der Aufstellung einer Sonnenuhr, eines Passageninstrumentes, eines Meridiankreises, eines Erd- oder Himmelsglobus, falls dies genau sein soll, bei der Aufstellung eines Gnomens rc., so kann man verschiedene Wege einschlagen. Ungefähr erhält man die verlangte Richtung, wenn man ein Fernrohr mit einer Verticalbewegung, z. B. an einem Theodolithen, nach dem Polarsterne richtet und nun durch das Rohr eine verticale Ebene legt. Eben so kann man das Fernrohr nach der Sonne richten im Augenblicke der Culmination. Ist ein nach Süden liegendes Fenster vorhanden, oder soll die Bestimmung im Freien geschehen, so errichte man auf einer horizontalen Platte einen verticalen Stift, der am oberen Ende eine dünne Metallplatte mit einem kleinen Loche trägt, schlage um den Fußpunkt mehrere concentrische Kreise und beobachte an einem heiteren Tage die Stellen in jenen Kreisen, in welche das durch die Oeffnung fallende Sonnenbildchen hintrifft. Halbirt man den Winkel, welchen zwei auf demselben Kreise liegende Stellen mit dem Fußpunkte bilden, so erhält man genau die Richtung der Mittagslinie. — Beobachtet man am Tage der Frühlings- oder Herbst-Tag- und Nachtgleiche die Richtung, in welcher die Sonne auf- oder untergeht, und errichtet auf dieser Richtung im Horizonte eine senkrechte Linie, so giebt diese ebenfalls ziemlich genau die Mittagslinie. Soll dieselbe ganz genau sein, so sind immer astronomische Beobachtungen noch erforderlich.

---

*) v. Zach a. a. O. Bd. IV. S. 625.

**) v. Zach a. a. O. Bd. IV. u. V.

***) v. Zach's monatl. Corresp. Bd. XXII. S. 301. Bessel in Schumacher's astron. Nachr. Nr. 218—220. Grunert ebend. Nr. 429. Rümker's Handbuch der Schifffahrtskunde. 4. Aufl. Hamburg 1844. S. 213.

Schließlich müssen wir noch darauf aufmerksam machen, daß die Bewohner der entgegengesetzten Hälften desselben Meridians, d. h. deren Meridiandifferenz 180° beträgt, in ihrer Zeit immer um 12 Stunden aus einander sind. Da nun nach den Inseln des stillen Oceans die Cultur von Europa gebracht ist, so macht es einen Unterschied, ob dieselbe von Osten oder Westen gekommen ist. So ist es fraglich, welchen Wochentag unsere Antipoden heute haben. Kam die Bezeichnung der Wochentage von Osten, so war dieselbe mit einem Entgegenkommen gegen die Culminationszeit der Sonne verbunden und derselbe Wochentag beginnt also dort 12 Stunden früher als bei uns; kam dieselbe von Westen, so war es umgekehrt, und derselbe Wochentag beginnt 12 Stunden später als bei uns. Daher kann es kommen, daß im stillen Oceane auf nicht weit aus einander liegenden Inseln gleichzeitig zwei verschiedene Wochentage eingeführt sind.

Eben so müssen wir noch des Einflusses der Meridiandifferenz auf uns näher liegende Verhältnisse erwähnen. Eine Meridiandifferenz von einem Grade bedingt eine Zeitdifferenz von 4 Minuten. Es bleibt also nicht gleichgültig, ob z. B. bei einem Postcurse oder Eisenbahncurse die Zeit nach den Endstationszeiten gerechnet wird oder nach einer Normaluhr. Von Berlin bis Danzig ist eine Zeitdifferenz von 21 Minuten, also würde von Berlin bis Danzig die Post oder der Eisenbahnzug 21 Minuten weniger Fahrzeit zugestanden erhalten und von Danzig nach Berlin 21 Minuten mehr, wenn nicht nach einer Normaluhr, welche die Fahrt mitzumachen hat, gerechnet werden würde. H. E.

Metallbaum, Metallvegetation nennt man die baumartig verzweigten Niederschläge von Metallen, welche bisweilen entstehen, wenn man ein Metall durch ein anderes aus seinen Lösungen niederschlägt. Die bekanntesten sind der Bleibaum, der entsteht, wenn man eine Zinkstange in einer verdünnten Auflösung von essigsaurem Bleioxyd aufhängt, und der Silberbaum oder Dianenbaum, der schon 1567 von Porta beschrieben wurde. Man erhält ihn, wenn man in eine verdünnte Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd ein wenig Silberamalgam thut. Zink und Quecksilber entziehen hier dem Blei und Silberoxyd den Sauerstoff, so daß sich beide Metalle niederschlagen. Diese Niederschläge besitzen dann nur einen sehr losen Zusammenhang, so daß sie bei der leisesten Berührung aus einander fallen. Von einem Eisenbaum sprechen schon Glauber und Kemery. Bei der Darstellung des Cäment-Kupfers im Großen treten gleichfalls häufig baumartig verzweigte Niederschläge auf, die aber einen festen Zusammenhang und oft eine bedeutende Größe besitzen. Man zweifelte daran, ähnliche Bildungen bei Versuchen im Kleinen erzeugen zu können. Dies gelang zuerst Wach *). — Einige Metalle, z. B. Kupfer, Gold, Silber kommen in ähnlichen Bildungen noch in der Natur vor. W. B.

Metalle und **Metalloide.** In diese beiden Abtheilungen zerfallen die in der Natur vorkommenden einfachen Körper, die sogenannten chemischen Elemente. Zu den Metallen (von μετ' ἄλλα, weil das Vorkommen eines Metalles nie vereinzelt auftritt, sondern die Gänge desselben hinter einander gefunden werden) gehören hiervon 46 und zwar:

*) Schweigger's Journal. Bd. LVIII. S. 40.

1) Kalium,
2) Natrium,
3) Lithium,
4) Baryum,
5) Strontian,
6) Calcium,
7) Magnesium,
8) Aluminium,
9) Beryllium,
10) Thorium,
11) Yttrium,
12) Terbium,
13) Erbium,
14) Cerium,
15) Lanthan,
16) Didym,
17) Zirkonium,
18) Mangan,
19) Eisen,
20) Kobalt,
21) Nickel,
22) Zink,
23) Kadmium,
24) Blei,
25) Wismuth,
26) Uran,
27) Kupfer,
28) Silber,
29) Quecksilber,
30) Zinn,
31) Antimon,
32) Titan,
33) Tantal,
34) Stirbium,
35) Chrom,
36) Vanadin,
37) Wolfram,
38) Molybdän,
39) Tellur,
40) Platin,
41) Rhodium,
42) Palladium,
43) Iridium,
44) Osmium,
45) Ruthenium,
46) Gold.

Die übrigen 14 Elemente rechnet man zu den Metalloiden, d. h. den metallähnlichen Körpern (von μετάλλος und εἶδος); diese sind:

1) Sauerstoff,
2) Wasserstoff,
3) Kohlenstoff,
4) Schwefel,
5) Selen,
6) Stickstoff
7) Chlor,
8) Brom,
9) Jod,
10) Fluor,
11) Phosphor,
12) Arsenik,
13) Bor,
14) Silicium.

Eine bessere Benennung für diese Gruppe wäre ohne Zweifel: Nichtmetalle. Allenfalls könnte man: Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor, Arsen, Bor und Silicium Metalloide nennen; während Chlor, Fluor, Brom, Jod, Schwefel, Selen und Sauerstoff die Gegensätze zu den eigentlichen Metallen bilden.

Eine scharfe Grenze läßt sich zwischen beiden Gruppen nicht ziehen; daher finden wir auch in den verschiedenen Lehrbüchern der Chemie einige Elemente bald in dieser, bald in jener Gruppe. In neuester Zeit sind es hauptsächlich noch 3 Elemente: Selen, Tellur und Arsenik, deren Stellung zweifelhaft ist. Alle drei besitzen Metallglanz, aber in ihren chemischen Eigenschaften stehen sie dem Schwefel und dem Phosphor, die unbedingt zu den Nichtmetallen gerechnet werden, sehr nahe. In neuester Zeit wird sogar auch das Silicium von Gore *) als Metall angeführt. Dessenungeachtet behält man jedoch diese Eintheilung bei, weil sie ein nützliches Hülfsmittel beim Studium der einfachen Körper gewährt.

Als Hauptunterscheidungszeichen der Metalle von den Nichtmetallen sieht man folgende physikalische Eigenschaften an:

1) Undurchsichtigkeit. Eine Ausnahme macht hier das Gold. Zu sehr dünnen Blättern ausgeschlagen, ist es durchscheinend und zwar mit einer schönen grünen Farbe.

2) Metallglanz, ein eigenthümlich lebhafter Glanz, der schwer zu beschreiben, aber Jedermann bekannt ist. Er zeigt sich besonders auf Krystallflächen und nach dem Schmelzen. In pulverförmigem Zustande beobachtet man an den Metallen diesen Glanz nicht; er läßt sich aber sehr leicht hervorrufen, wenn man das Pulver mit einem harten, polirten Körper reibt. Dieser eigenthümliche Glanz scheint, zum Theil wenigstens, von der großen Undurchsichtigkeit der Metalle herzurühren. Außer dem Selen und Arsen besitzt unter den Nichtmetallen auch die Kohle in ihrer Modification als Graphit und Jod einen deutlich ausgesprochenen Metallglanz.

*) Phil. Mag. Vol. VII. p. 227.

3) Eine bedeutende Leitungsfähigkeit für Wärme und Elektricität. Auch hier finden sich bei den verschiedenen Metallen große Unterschiede. In Bezug auf die Wärme ist es wichtig, diese zu kennen, da wir uns der metallenen Gefäße bei den verschiedensten Operationen bedienen. Kommt es z. B. darauf an, Flüssigkeiten zu verdampfen oder zum Kochen zu bringen, so würden hierzu am besten diejenigen Metalle zu verwenden sein, deren Wärmeleitungsvermögen sehr groß ist, denn diese lassen, bei gleicher Dicke, in einer bestimmten Zeit eine größere Wärmemenge hindurch, als andere Metalle, deren Wärmeleitungsvermögen geringer ist. Die folgenden Zahlen geben hierüber näheren Aufschluß:

Gold	200	Zink	73
Silber	195	Zinn	61
Kupfer	180	Blei	36
Eisen	75		

Nur diejenigen Metalle sind gute Leiter der Wärme und Elektricität, welche sich in großen zusammenhängenden Massen darstellen lassen. Eine große Zahl derselben kennt man bis jetzt jedoch nur in Pulverform und diese leiten die Wärme und Elektricität nur in einem geringen Grade, während von den Nichtmetallen stark ausgeglühte Holzkohle die Elektricität ziemlich gut leitet.

4) Geschmeidigkeit, d. h. die Fähigkeit, unter einem gewissen Druck die Form bleibend zu verändern, ohne daß dadurch der Zusammenhang unter den einzelnen Theilchen aufgehoben wird. Einige Metalle (Tellur, Antimon, Wismuth z. B.) besitzen diese Eigenschaft in einem so geringen Grade, daß sie sich mit Leichtigkeit pulvern lassen. Wir haben hier die Hämmerbarkeit und Dehnbarkeit zu unterscheiden, d. h. einige Metalle lassen sich zu dünnen Blechen ausschlagen oder auswalzen oder zu Drähten ausziehen. Beide Eigenschaften findet man nicht immer, wie beim Gold, Silber und Platin vereinigt. Diese für das praktische Leben sehr wichtigen Eigenschaften werden bei gewissen Metallen durch geringe Mengen fremder Einmengungen sehr beeinträchtigt.

5) Ein hohes specifisches Gewicht. Auch hier finden sich zahlreiche Ausnahmen: die Metalle der Erden, der alkalischen Erden und der Alkalien. Kalium und Natrium z. B. sind leichter als Wasser.

Nur sehr wenige Metalle kommen als solche, d. h. im gediegenen Zustande, in der Natur vor. Zumeist treten sie in Verbindung mit Sauerstoff, Schwefel und Arsenik oder auch als Salze auf. Von der Darstellung der Metalle im Großen aus ihren Verbindungen handelt eine eigene Wissenschaft, die Metallurgie (von μετάλλος, Metall, Erz und ἔργειν, darstellen, bearbeiten). Als Hauptlehrbücher dieser Wissenschaft führen wir an: Karsten's System der Metallurgie, geschichtlich, statistisch, theoretisch und technisch dargestellt; Rammelsberg's Metallurgie; Scheerer's Lehrbuch der Metallurgie, mit besonderer Hinsicht auf chemische und physikalische Principien; Kerl's Lehrbuch der Hüttenkunde.

Mit Ausnahme des Quecksilbers sind sämmtliche Metalle feste Körper. Eben so besitzen alle Metalle die Eigenschaft zu krystallisiren. Es ist jedoch nicht leicht, die Bedingungen herbeizuführen, unter denen sie eine regelmäßige Form annehmen. Die gediegenen Metalle kommen häufig in sehr schönen Krystallen vor. Andere krystallisiren beim langsamen Erkalten nach dem Schmelzen Am besten gelingt dies beim Wismuth, schwieriger beim Antimon, Blei und Zinn. Mitunter bilden

sich auch, wie z. B. beim Eisen in den Hohöfen, Krystalle inmitten einer festen Masse, wenn diese längere Zeit hindurch einer hohen Temperatur ausgesetzt ist. Mit Hülfe eines schwachen elektrischen Stromes gelingt es von einer großen Zahl der Metalle wie deren Auflösungen Krystalle zu erzeugen, die freilich oft so klein sind, daß man sie nur durch eine Lupe erkennen kann. Die Metalle krystallisiren gemeinhin tesseral, wie Kupfer, Silber, Gold, Platin, Iridium, Palladium, Quecksilber oder hexagonal (rhomboëdrisch), wie Wismuth, Antimon und Tellur; nur das Zinn allein krystallisirt quadratisch. Die krystallinische Structur übt einen großen Einfluß auf die Geschmeidigkeit der Krystalle aus; je mehr jene ausgebildet ist, desto geringer ist diese.

Die Farbe der meisten Krystalle, besonders im gepulverten Zustande, ist grau, mehr oder weniger dunkel; bei zusammenhängenden, polirten Massen wird die Farbe weißer. Einige wenige Metalle indessen besitzen, wie bekannt, eine deutlich ausgesprochene Farbe. Im Allgemeinen besitzen die Metalle keinen Geruch. Einige jedoch (Zinn, Kupfer, Eisen, Blei) verbreiten einen unangenehmen Geruch, besonders wenn man sie mit der Hand reibt. Einige Metalle besitzen auch einen eigenthümlichen, unangenehmen Geschmack. — Obgleich es bis jetzt nicht gelungen ist, alle Metalle zu schmelzen, so kann man doch behaupten, daß alle Metalle in der Hitze schmelzen. Die Temperatur, bei der dies geschieht, ist eine sehr verschiedene. Quecksilber wird z. B. bereits bei — 39° flüssig; Kalium schmilzt bei + 55° und Gußeisen erst bei 1915°. Eben so können die meisten Metalle bei sehr hohen Temperaturen (im Knallgasgebläse) verflüchtigt werden; beim Quecksilber und Zink tritt dies bereits bei einer ziemlich niedrigen Temperatur ein.

Auch durch ihre chemischen Eigenschaften sind die Metalle nicht scharf von den Nichtmetallen geschieden. Man führt auch hier verschiedene Eigenschaften der Metalle an, die aber gleichfalls Ausnahmen erleiden. So z. B. sagt man von den Metallen, daß sie sich nicht mit Wasserstoff verbinden, man kennt jedoch solche Verbindungen bei dem Antimon und Tellur, die gemeinhin zu den Metallen gerechnet werden. Als Hauptunterschiede der Metalle führt man ferner an, daß sie mit dem Sauerstoff basische Verbindungen liefern, während die Verbindungen der Nichtmetalle mit diesem Elemente indifferent, neutral oder sauer sind, und daß die Nichtmetalle, aber nicht die Metalle als solche aufgelöst werden können. Manche Verbindungen der Nichtmetalle mit Sauerstoff verhalten sich jedoch gegen starke Säuren als schwache Basen.

Der Sauerstoff geht mit allen Metallen Verbindungen ein; die directe Einwirkung aber ist eine sehr verschiedene. Einige Metalle, wie z. B. Kalium und Natrium, verbinden sich bereits bei gewöhnlicher Temperatur, selbst in trockner Luft, mit dem Sauerstoff; bei anderen findet die Verbindung nur in feuchter Luft statt. Die Veränderung, welche die Metalle in feuchter Luft erleiden, ist theils eine oberflächliche, theils eine durchgreifende. Eisen z. B. wird nach und nach ganz zerfressen, während sich das Zink nur auf seiner Oberfläche mit einer dünnen Oxydschicht belegt, die das Innere vor der weiteren Einwirkung des Sauerstoffs schützt. Beim Eisen schreitet die Zerstörung viel rascher vorwärts, wenn bereits einiger Rost auf der Oberfläche entstanden ist. Die Oxydschicht bildet mit dem Eisen ein voltaisches Element, in welchem das Eisen elektropositiv ist. Dadurch wächst die Verwandtschaft des Eisens zum Sauerstoff bedeutend, da es sich an und für sich

schon in Bezug auf diesen elektropositiv verhält. Bei noch anderen Metallen ist zu ihrer Vereinigung mit dem Sauerstoff eine höhere Temperatur erforderlich. Nur Gold und Platin vereinigen sich selbst bei der höchsten Temperatur nicht direct mit Sauerstoff; bei diesen Metallen kann man diese Verbindung nur auf Umwegen erzielen. Kali und Natron lassen den Sauerstoff selbst in den höchsten Temperaturen nicht fahren, während dies beim Gold und Platin sehr leicht stattfindet. Eben so verschieden ist das Verhalten der Metalle zum Wasser. Einige zersetzen das Wasser schon bei gewöhnlicher Temperatur, andere erst bei 100° C. oder in der Rothglühhitze oder auch gar nicht.

Uebrigens hängt das Verhalten der Metalle gegen den Sauerstoff und das Wasser sehr von dem Zustande der Vertheilung ab. Je feiner vertheilt die Metalle sind, um so heftiger ist die Einwirkung, weil hier eine bedeutend größere Oberfläche mit dem Sauerstoff oder dem Wasser in Berührung kommt. Eisen z. B. in einem feinzertheilten Zustand — durch Reduction des Oxydes mittelst Wasserstoffgas bei nicht sehr hoher Temperatur erhalten, — verbindet sich, wenn man es durch die Luft fallen läßt, so energisch mit dem Sauerstoff, daß, in Folge der hierbei entwickelten Hitze, eine förmliche Verbrennung der Metalltheilchen stattfindet. Eben so brennt auch das feinzertheilte Kupfer sehr leicht in Sauerstoff, wenn es stark erhitzt wird. Zu einer der schönsten Erscheinungen gehört das Verbrennen von Eisendraht, selbst bei einem ziemlich bedeutenden Durchmesser, im Sauerstoff. Der Draht verbrennt vollständig, weil das sich bildende Oxyd bei dieser Temperatur schmilzt und so die Oberfläche des Drahtes stets frei davon bleibt. Die flüchtigen Metalle, z. B. das Zink, brennen bei geeigneter Temperatur selbst in gewöhnlicher Luft mit sehr glänzender Flamme.

Das verschiedene Verhalten der Metalle zu dem Sauerstoff und Wasser hat man zu einer Eintheilung der Metalle benutzt.

Erste Gruppe: Metalle, welche den Sauerstoff bei allen Temperaturen, selbst den höchsten aufnehmen und das Wasser eben so bei allen Temperaturen, selbst den niedrigsten zersetzen: Kalium, Natrium, Lithium, Baryum, Strontium, Calcium.

Zweite Gruppe: Metalle, welche den Sauerstoff selbst bei der höchsten Temperatur aufnehmen und ihn durch die Hitze allein nicht wieder fahren lassen; sie zersetzen das Wasser bei gewöhnlicher Temperatur nur schwach, aber leicht bei einer Temperatur über 50°: Magnesium, Mangan, Aluminium. Wahrscheinlich sind die folgenden Metalle hierher zu rechnen, deren Verhalten zum Wasser noch nicht hinreichend studirt ist: Beryllium, Zirkonium, Yttrium, Thorium, Cerium, Lanthan, Didym, Erbium und Terbium.

Dritte Gruppe: Metalle, die in der Rothgluth sich mit Sauerstoff verbinden und diesen durch die Hitze allein nicht fahren lassen; sie zersetzen das Wasser in Temperaturen über 100° C., aber unter der Rothgluth. Bei Gegenwart von Säuren zersetzen diese Metalle auch bei gewöhnlicher Temperatur das Wasser energisch: Eisen, Nickel, Kobalt, Chrom, Vanadin, Zink, Kadmium, Uran.

Vierte Gruppe: Metalle, welche den Sauerstoff in der Rothgluth absorbiren und diesen durch die Wärme allein nicht wieder abgeben; sie zersetzen den Wasserdampf in der Rothgluth mit Leichtigkeit, aber sie zersetzen das Wasser nicht bei Gegenwart starker Säuren, weil sie mit dem Sauerstoff nur schwach basische Ver-

bindungen eingehen: Wolfram, Molybdän, Osmium, Tantal, Titan, Zinn und Antimon. Wahrscheinlich gehört auch Stirbium hierher.

Fünfte Gruppe: Das Verhalten zum Sauerstoff ist hier dasselbe wie bei den Metallen der vorhergehenden Gruppe: das Wasser wird zwar bei einer sehr hohen Temperatur zersetzt, aber doch nur sehr schwach. Diese Metalle vermögen das Wasser weder bei Gegenwart starker Säuren, noch, wie die Metalle der vierten Gruppe, bei Gegenwart starker Basen zu zersetzen: Kupfer, Blei, Wismuth.

Sechste Gruppe: Metalle, deren Sauerstoffverbindungen bei höherer oder geringerer Temperatur zersetzt werden; mit Ausnahme des Silbers vermögen sie das Wasser bei keiner Temperatur zu zersetzen: Quecksilber, Silber, Rhodium, Iridium, Palladium, Platin, Ruthenium, Gold.

Außerdem hat man noch verschiedene andere Eintheilungen der Metalle vorgeschlagen — in leichte und schwere, edle und unedle, elektropositive und elektronegative 2c. Allgemein gebräuchlich ist noch die in Metalle der Alkalien (Kalium, Natrium, Lithium), der alkalischen Erden (Baryum, Strontium, Calcium, Magnesium), der eigentlichen Erden (Aluminium, Beryllium, Yttrium, Terbium, Erbium, Thorium, Zirkonium, Stirbium, Cerium, Lanthan und Didym) und in die eigentlichen Metalle.

Die Verbindungen der Metalle mit Sauerstoff nennt man im Allgemeinen Oxyde. Ihre chemische Natur ist aber eine sehr verschiedene. Wir finden darunter mehr oder weniger starke Basen, die sich leicht mit den Säuren zu Salzen verbinden; Säuren, die wiederum mit starken Basen Salze bilden; indifferente, d. h. solche, die, wie die Thonerde, fähig sind je nach den Umständen die Rolle einer Säure oder Base zu spielen; andere vereinigen sich weder mit Säuren noch mit Basen. Bringt man diese mit Säuren zusammen, so geben sie entweder, wie das Mangansuperoxyd, einen Theil ihres Sauerstoffs oder, wie das Bleisuboxyd, einen Theil des Metalles ab und nun erst gehen sie in eine Verbindung mit den Säuren ein. Oft verbinden sich auch die basischen Oxyde mit einer höheren Oxydationsstufe desselben Metalles, wie z. B. die Oxyduloxyde des Eisens, des Mangans und Chroms.

Ein und dasselbe Metall verbindet sich in der Regel in mehreren Verhältnissen mit dem Sauerstoff. Von diesen verschiedenen Verbindungen ist gemeinhin die nach der Formel RO zusammengesetzte, welche die geringste Menge Sauerstoff enthält, eine starke Base, während die Oxyde R^2O^3 theils schwache Basen sind und auch die Rolle einer Säure spielen. Die Säuren sind die sauerstoffreichsten Verbindungen der Metalle.

Außerdem verbinden sich die Metalle auch mit Schwefel, Chlor, Brom, Jod, Fluor, Phosphor, Arsenik, Bor, Kiesel und Kohle. Die Nichtmetalle übernehmen hier stets die Rolle des elektronegativen Elementes. Die Verbindungen der Metalle unter sich nennt man Legirungen (s. d. Art.).

So groß die Zahl der Metalle auch ist, so ist es doch sehr leicht, dieselben zu erkennen und von einander zu trennen. Als Hauptmittel dienen hierbei Schwefelwasserstoff und Schwefelammonium. Durch ersteren werden folgende Metalle aus ihren sauren Lösungen als Schwefelmetalle niedergeschlagen: Kadmium gelb, Quecksilber, Silber, Blei, Wismuth, Kupfer, Gold, Platin und Iridium schwarz, Zinn und Arsenik gelb, Antimon orange; die letzteren sechs Schwefelmetalle sind in Schwefelammonium löslich. Durch Schwefelammonium werden folgende Me-

talle gefällt und zwar als Schwefelverbindungen: Zink weiß, Mangan blaßroth, Eisen, Kobalt, Nickel und Uran schwarz; als Oxyde: Aluminium und Beryllium weiß und Chrom grün. Die Alkalien und die alkalischen Erden werden weder durch Schwefelwasserstoff noch durch Schwefelammonium gefällt. Weiter benutzt man auch häufig das Löthrohr (s. Bd. IV. S. 665), um die verschiedenen Metalle mit Leichtigkeit zu erkennen.

Bis zum 13. Jahrhundert hin kannte man nur sieben Metalle (Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, Quecksilber), die bereits in den Schriften der Griechen und Römer vorkommen. Bis zum 18. Jahrhundert trat nur eine sehr spärliche Vermehrung ein (Antimon, Wismuth, Zink), um so zahlreicher aber waren die Entdeckungen neuer Metalle von jetzt an. Das 18. Jahrhundert lehrte uns deren 10 (Kobalt, Platin, Nickel, Mangan, Wolfram, Molybdän, Tellur, Uran, Titan, Chrom) kennen. Die größere Hälfte gehört der jüngsten Zeit, den letzten 50 Jahren an. Außerdem hat es seit der Zeit, in der die Chemie einen neuen Aufschwung gewann, auch nicht an Entdeckungen vermeintlich neuer Metalle gefehlt, die ihr kurzes Dasein nur dem unvollkommenen Zustande der Chemie oder einer mangelhaften Untersuchung verdankten. Sie wurden sehr bald als Verbindungen schon bekannter Stoffe erkannt und traten nur auf, um wieder zu verschwinden. Daran hat es selbst in neuester Zeit nicht gefehlt. Aehnlich wie im Leben häufig neben der Bahre die Wiege steht, brachte die Wissenschaft oft auch neben der Todesanzeige eines nach einem kurzen Leben ohne Sang und Klang zu Grabe getragenen neuen Metalles die Nachricht von der Geburt eines neuen, dem ein gleiches Schicksal von solchen, die weniger begierig waren, ihren Namen durch die Entdeckung eines neuen Elementes unsterblich zu machen, geweissaget wurde. Solche vorübergehende Erscheinungen aus der neuesten Zeit sind das Donarium und Oxidium. Ersteres wurde von Bergmann*) in einem norwegischen Mineral, Namens Orangit, gefunden, das mit Wöhlerit und Eukolit im Zirkonsyenit von Brevig vorkommt. Fast gleichzeitig fanden Damour**) und Berlin***), daß Bergmann's Donariumoxyd identisch sei mit Thonerde, die jedoch mit Uranoxyd, Eisenoxyd, Vanadinsäure, Zinn und Molybdänsäure verunreinigt war. Die eigenthümlichen Reactionen, die Bergmann zu der Einführung eines neuen Metalles verleiteten, waren eben in diesen Verunreinigungen begründet. Ganz so war es auch beim Oxidium, das Ullgreen****) an einem schwedischen Chromeisenstein gefunden haben wollte. Bald darauf untersuchte Bahr*****) dasselbe Mineral und suchte daraus genau nach Ullgreen's Angaben das neue Metall darzustellen. Bei genauerer Untersuchung stellte sich aber heraus, daß das Oxidium nicht nur dem Eisen „ähnlich", sondern auch vollkommen gleich war. Das abweichende Verhalten gegen Reagentien, wodurch Ullgreen sich zur Aufstellung eines neuen Metalles berechtigt glaubte, rührte von noch darin enthaltenem Phosphor und Chrom her. Die letzte Entdeckung dieser Art

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 561.

**) Compt. rend. T. XXXIV. p. 686.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 558.

****) Ofversigt af kongl. Vetensk. Akad. Förh. 1850. No. III. p. 55. Liebig's Ann. Bd. LXXVI. S. 239.

*****) Ofversigt af kongl. Vetensk. Akad. Förh. 1852. p. 161.

hat Genth *), ein Chemiker, der sich in Amerika aufhält, gemacht. Er will das neue Metall, von dem es bis jetzt freilich noch heißt, „Namen nennen dich nicht", bei Gelegenheit einer Untersuchung von weißen Körnern — aus 49,4 Sisserskit ($JrOs^4$), 2,2 Platiniridium, 48,4 Platin und Gold bestehend, — die aus californischem Golde ausgelesen waren, gemacht haben.

Zweifelhaft sind ferner noch das Norium und Ilmenium. Ersteres sieht Svemberg **) als einen Bestandtheil der Zirkonerde an, womit jedoch die Untersuchungen von Berlie ***) nicht übereinstimmen. Das Ilmenium will Hermann in Moskau in dem Ytteroilmenit, einem Mineral vom Ilmengebirge, aufgefunden haben. Neuere Untersuchungen stellen jedoch das Dasein dieses Metalles sehr stark in Zweifel; es wird sehr wahrscheinlich, daß es Niobium mit Wolfram und Pelopium verunreinigt sei. Hierüber hat sich jedoch ein heftiger Federkrieg entsponnen ****). Endlich hat H. Rose *****) das Pelopium, seine eigene Entdeckung, kassirt, indem neuere Untersuchungen ergaben, daß die Nickelsäure und Pelopsäure jedenfalls die Oxyde desselben Metalles seien.

Obgleich in neuerer Zeit die Chemie über alle Erwartung den alten Ruf, daß sie Gold machen könne, dadurch gerechtfertigt hat, daß sie nicht allein die Grundlagen zu mannichfachen neuen Schöpfungen der Industrie geliefert, sondern vornämlich auch dazu beigetragen hat, daß die Bedürfnisse der Menschen auf ungleich leichtere Art zu befriedigen sind, wodurch die Behaglichkeit des Lebens für weite Kreise zugänglich geworden ist, so erfüllt nichts desto weniger der alte Traum aus jener Zeit, in der die Wissenschaft noch in den Windeln lag, selbst in unseren Tagen den Kopf vieler Mystiker. Gleich Albertus Magnus (im 12. Jahrhundert) hält auch Tiffereau †), ehemaliger Schüler und Präparateur an der Gewerbschule in Nantes, die künstliche Darstellung der edlen Metalle für eine ausgemachte Sache. Die gänzliche Nichtbeachtung dieser großen Entdeckung, von der Tiffereau sagt, daß sie „die kühnsten Geister durch ihre Wichtigkeit erschrecken wird", stört ihn nicht, unermüdlich stets wieder von Neuem hervorzutreten. Nicht weniger denn 6 Aufsätze über die „Transmutation der Metalle" hat er an die Pariser Akademie abgegeben ††). Sie sind alle Behufs einer Prüfung an eine Commission abgegeben, die aus den Chemikern Thenard, Chevreul und Dumas besteht. Auf diesen Bericht sind wir sehr gespannt; bis jetzt ist er uns noch nicht vor Augen gekommen.

So groß die Zahl der Metalle auch ist, so finden wir darunter doch nur sehr wenige, die als Metalle eine ausgedehnte Anwendung zu praktischen Zwecken gefunden haben. Es gehören verschiedene Bedingungen dazu, um ein Metall für

*) Sillim. Americ. Journ. Tom. XV. p. 246.
**) Pogg Ann. Bd. LXV. S. 317.
***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 145.
****) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXVIII. S. 109; Bd. XL. S. 457; Bd. XLII. S. 129; Bd. XLIV. S. 216. Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 157; Bd. LXXIII. S. 449.
*****) Pogg. Ann. Bd. XC. S. 456.
†) Les metaux ne sont pas des corps simples, mais bien des corps composés. La production artificielle des métaux précieux est possible, est un fait avéré. Paris 1853. chez L. Martinet, rue Mignon No. 2.
††) Compt. rend. T. XXXIX. p. 205.

die Anwendung im Leben geschickt zu machen. Zuerst darf es nur eine schwache Verwandtschaft zum Sauerstoff besitzen; dann muß ihm eine gewisse Geschmeidigkeit eigen sein, ohne die es unmöglich ist, ein Metall zu verarbeiten und ihm die geeigneten Formen zu geben. Und zwar müssen die Metalle diese Eigenschaft in einem ziemlich hohen Grade besitzen, damit ihre Verarbeitung nicht zu kostspielig wird. Ferner ist erforderlich, daß es in der Natur in bedeutenden Mengen sich vorfindet und daß die Gewinnung aus den Erzen nicht mit zu großen Kosten verknüpft ist. Alle Bedingungen sind nur selten vereinigt und dadurch ist es erklärlich, daß die zahlreichen Entdeckungen der neueren Zeit nach dieser Seite hin die Zahl der nutzbaren Metalle so wenig vergrößert haben. Zu den Metallen, die als solche eine Verwendung im Leben finden und die bereits den Alten bekannt waren, sind im Laufe der Jahrhunderte nur hinzugekommen Kobalt, Nickel, Zink und Platin; in einem noch beschränkteren Sinne kann man auch das Kadmium, Palladium und Iridium hinzurechnen. Aber damit ist nicht gesagt, daß die zahlreichen Entdeckungen der neuen Metalle allein nur ein wissenschaftliches Interesse darbieten. Denn anders wie mit den Metallen selbst ist es mit den Verbindungen derselben, von denen sehr viele eine technische Verwendung finden, während viele von den Metallen bis jetzt nur wissenschaftliche Seltenheiten sind.

Nur ein Metall, dessen Entdeckung der neuesten Zeit angehört, hat in unseren Tagen viel von sich reden gemacht. Es ist dies das Aluminium, mit dessen Darstellung sich Deville angelegentlich beschäftigt hat. Die Industrieausstellung war berufen, den Märchen vom „Silber aus Lehm" ein Ende zu machen; hier mußte das Wunderkind öffentlich auftreten und leicht erkannte man, daß der größte Theil dessen, was man von ihm gehört hatte, auf Rechnung des Schwindels und der Leichtgläubigkeit der großen Menge zu setzen sei. Statt der Berge von Aluminium fand man hier nur 12 kleine Barren, die vielleicht im Ganzen 2 Pfund wogen; wenig genug für eine Entdeckung, welche die Welt aus ihren Angeln heben sollte. Von den daraus gefertigten Gegenständen fanden sich nur wenig kleine Löffel und Gabeln vor, denen man freilich den Ehrenplatz unter den Gold- und Silberwaaren der berühmten Fabrik von Christofle, die mit dem Porzellan von Sevres und den Gobelins die Krondiamanten im Panorama umgaben, angewiesen hatte. Obgleich das Aluminium kein hochzeitliches Gewand trug, da jetzt nicht mehr die Rede sein konnte von dem Silberglanze, den das vermeintliche neue Metall besitzen sollte, so gebührte ihm dieser Ehrenplatz dennoch, da es das theuerste Metall ist, theurer als Gold und Platin. Hieraus geht am deutlichsten hervor, was von den Redensarten Deville's zu halten ist. Seine Methode, das Aluminium durch Reduction vermittelst gewöhnlicher Metalle herzustellen, steht immer noch nur auf dem Papier; so oft er auch seine Stimme erhoben hat *), so wird diese Methode immer wieder von Neuem nur versprochen. Seine Darstellungsmethode ist immer noch die alte. Freilich hat Chapelle angegeben **), daß es ihm gelungen sei, Aluminium aus einem Gemenge von gemeinem Thon, Kochsalz und Holzkohle durch Glühen erhalten zu haben; damit wäre scheinbar das Räthsel vom

*) Compt. rend. T. XXXVIII. p. 358. 557; T. XXXIX. p. 321; T. XL. p. 1296. L'Institut No. 1049 p. 56; No. 1056. p. 105. Journ. de Pharm. et de Chim. T. XXVI. p. 285.

**) Compt. rend. T. XXXVIII. p. 358.

Stein der Weisen gelöst, wenn diese Behauptung mehr als eine bloße Redensart wäre.

In Anbetracht dessen, daß die Verbindungen des Aluminium zu den Mineralien gehören, die am häufigsten in der Natur vorkommen, ist es wohl denkbar, daß dieses Metall berufen ist, dermaleinst eine große Rolle in der Industrie zu spielen. Freilich sind manche seiner angepriesenen Eigenschaften bei nüchterner Betrachtung geschwunden, aber es besitzt deren doch noch genug, um eine ausgebreitete Verwendung zu gestatten. Nur zwei Eigenschaften sind sehr bedenklich: einmal soll es das Wasser in der Siedhitze zersetzen und dann soll es in großen Mengen selbst von den schwächsten Laugen aufgelöst werden. Fest scheinen diese Behauptungen nicht zu stehen. Eine Methode, nach der das Aluminium ohne sehr großen Kostenaufwand darzustellen wäre, würde sich wohl mit der Zeit finden.

Als allgemeine Kennzeichen der Nichtmetalle werden in der Regel angegeben, daß sie durchsichtig oder durchscheinend, schlechte Leiter der Wärme und Nichtleiter der Elektricität sind. Von ihnen sind fünf (Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Chlor und Fluor) bei gewöhnlicher Temperatur gasförmig, eins (Brom) flüssig und die übrigen fest. Von den letzteren sind Jod, Phosphor, Schwefel und Selen schmelzbar und flüchtig, das Arsen zwar nicht schmelzbar, aber flüchtig und Bor, Kiesel und Kohlenstoff höchst feuerbeständig und bei unseren gewöhnlichen Mitteln unschmelzbar. Häufiger als bei den Metallen findet man hier Farbe, Geruch und Geschmack. Die Nichtmetalle gehen unter sich eine große Zahl von Verbindungen ein. W. B.

Metalloide, s. Metalle.

Meteorologie (v. d. griech. μετέωρος, über der Erde, himmlisch, atmosphärisch, Lufterscheinung) ist derjenige Theil der angewandten Physik, welcher sich damit beschäftigt, die sämmtlichen in der Atmosphäre vorgehenden Erscheinungen auf bekannte physikalische Gesetze zurückzuführen. Gegenstände der Meteorologie sind: die Lehre von der Beschaffenheit der Atmosphäre als solcher (Atmosphärologie, s. d. Art. Atmosphäre); ferner die einzelnen Meteore: Winde, Stürme (s. d. Art.), die Nebel, Wolken und alle in der Atmosphäre erfolgenden wässerigen Niederschläge, als Thau, Regen, Schnee, Graupeln, Hagel (s. d. Art.), gewöhnlich auch die aus der Atmosphäre niederfallenden Substanzen, Meteorsteine, mögen diese nun innerhalb oder außerhalb der Atmosphäre entstanden sein; die Lichterscheinungen in der Atmosphäre, als: der Regenbogen, die Höfe, die Luftspiegelungen (s. d. Art.); die Erscheinungen endlich des Blitzes, des Wetterleuchtens (s. d. Art. Gewitter), der Sternschnuppen, der Feuerkugeln, des Nordlichts (s. d. Art.). Das wichtigste Object der Meteorologie sind aber in neuerer Zeit die Temperaturverhältnisse der Atmosphäre und Erde geworden, namentlich die Art und Weise, wie die von der Sonne herrührende Wärme auf der Erdoberfläche vertheilt ist (s. d. Art. Isothermen). Durch diese Temperaturverhältnisse sind viele der oben erwähnten Erscheinungen: die Winde, wässerigen Niederschläge 2c. bedingt, und umgekehrt haben die eben genannten Erscheinungen wieder Einfluß auf die Temperaturverhältnisse eines bestimmten Ortes der Erdoberfläche (s. d. Art. Klima).

Von der Meteorologie wohl zu unterscheiden ist die Meteorognosie oder Meteoromantie, d. h. die Kunst, das Wetter vorherzusagen. Es ist leicht zu ersehen, daß diese Kunst, falls sie nicht ganz bodenlos sein soll, sich nothwendigerweise auf die Meteorologie stützen muß (s. d. Art. Witterung).

Meteorsteine, s. Feuerkugeln.

Metronom, s. Pendel.

Miasmen, s. Desinficiren.

Mikrometer (v. d. griech. μικρός, klein, und μέτρον, Maß) heißt jedes zum Messen sehr kleiner Größen bestimmte Instrument. Man bedient sich desselben namentlich bei Fernröhren und Mikroskopen, und zwar bei den ersteren zur Messung des scheinbaren Durchmessers der Planeten, der Elongation der Satelliten, der Distanzen der Doppelsterne, bei den letzteren zur Messung der wahren Größe der beobachteten Objecte.

Wir werden hier zunächst auf die Mikrometer an den Fernröhren eingehen und verweisen wegen der bei Mikroskopen gebräuchlichen auf den zunächst folgenden Art. Mikroskop.

Das Princip des Mikrometers wird aus Folgendem klar werden. In dem Brennpunkte jedes Fernrohres (s. Art. Fernrohr, astronomisches Bd. III. S. 103) wird ein kleines Bild des Gegenstandes erzeugt, auf welchen das Fernrohr gerichtet ist; bringt man nun an der Stelle dieses Bildes irgend einen materiellen Gegenstand an, welcher mit dem Bilde in derselben Ebene liegt und mit demselben gleichzeitig deutlich zu sehen ist, z. B. eine schwarze Scheibe mit einem ausgeschnittenen kleinen Kreise, oder ausgespannte dünne Fäden, welche das Gesichtsfeld in kleine Felder theilen, so wird man in der bekannten Größe des von dem Bilde gedeckten Theiles ein Maß für das Bild erhalten. Es ist einleuchtend, daß man auf solche Weise die scheinbaren Durchmesser der Planeten würde messen können, eben so den Abstand zweier Sterne, welche gleichzeitig im Gesichtsfelde erscheinen; es kommt aber darauf an, solche Messungen mit aller nur erreichbaren Schärfe zu vollziehen, und daher sind noch besondere Einrichtungen zu treffen.

Solcher Einrichtungen sind mehrere ausgeführt und praktisch bewährt gefunden, noch mehrere vorgeschlagen worden.

A. Fadenmikrometer.

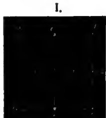
Die Fadenmikrometer, deren Princip schon im Vorhergehenden im Allgemeinen angegeben ist, zerfallen a) in solche mit durchweg feststehenden Fäden und b) in solche, bei denen wenigstens ein Faden beweglich ist.

a) 1) Das parallele Fadenmikrometer besteht in einer ungeraden Anzahl unter einander paralleler Fäden, von denen der mittelste durch die Mitte des Gesichtsfeldes geht, außerdem werden sie alle rechtwinkelig von noch einem durch die Mitte des Gesichtsfeldes gehenden Faden geschnitten. Die parallelen Fäden sollen unter einander gleichen Abstand haben, und der schneidende Faden muß bei einem Meridianfernrohr mit dem Horizont, bei einem Aequatoreale mit dem Aequator parallel laufen. Um dies zu erreichen, macht man das ganze System von Fäden um die Axe des Fernrohrs drehbar und stellt es bei dem Aequatoreale so, daß ein dem Aequator nahe stehender Stern längs dem einen Faden durchgeht und

denselben nicht verläßt. An dem letzteren Faden läßt sich die Höhe oder Deklination, an den parallelen Fäden der Unterschied in der Rectascension der Gestirne beobachten. Bei diesen Beobachtungen ist eine Uhr erforderlich, welche genau nach Sternzeit geht. Daß man mehrere parallele Fäden anbringt, gewährt den Vortheil, daß man ein genaueres Resultat erhält, wenn man den Durchgang der zu untersuchenden Gestirne an jedem derselben beobachtet und aus allen Beobachtungen das Mittel nimmt.

2) Das Fadenmikrometer mit gegen einander geneigten Fäden besteht entweder aus zwei Fäden, welche unter einem bestimmten Winkel gegen einander geneigt sind, oder aus drei Fäden, die mit einander verschiedene willkürliche Winkel bilden, oder aus drei Fäden, bei denen der erste und zweite, und der zweite und dritte gleiche Winkel mit einander bilden.

I.



Bradley construirte zuerst ein Mikrometer letzterer Art, indem er die Seiten a b und c d (s. nebenstehende Fig. I.) eines Quadrates a b c d in E und F halbirte, diese Halbirungspunkte unter sich und mit den gegenüberstehenden Ecken des Quadrates verband. Die drei Fäden waren also d E, F E und c E, eben so a F, E F und b F, bei denen die Winkel d E F, F E c, a F E und b F E unter einander gleich sind. Hier ist $\text{tg} < \text{FEc} = \frac{1}{2}$, und das Mikrometer wird Rautenmikrometer genannt.

II.



Burkhardt änderte dies Netz dahin ab, daß die Fäden keinen Rhombus, sondern ein Quadrat einschlossen, indem er alle Seiten des Quadrates a b c d halbirte (s. Fig. II.) und die Halbirungspunkte E G F H der Reihe nach und die beiden gegenüberstehenden E und F durch Fäden verband. Hier ist $\text{tg FEG} = \text{tg } 45^0$, und das Mikrometer heißt Quadratmikrometer.

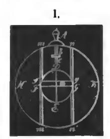
Mit Mikrometern dieser Art kann man nicht nur die Differenz der Rectascension, sondern auch die der Deklination bestimmen.

b) Das Fadenmikrometer mit beweglichen Faden besteht entweder aus zwei horizontalen Fäden, von denen der eine fest, der andere beweglich ist, und wird Schraubenmikrometer genannt, oder aus drei Fäden, von denen zwei wie bei dem vorhergehenden eingerichtet sind, der dritte aber, welcher fest steht, dieselben in der Mitte des Gesichtsfeldes rechtwinkelig schneidet, und heißt Positionsmikrometer.

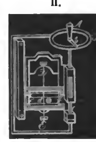
Bei diesen beiden Mikrometern ist auf einer in dem Brennpunkte senkrecht auf die Axe desselben befestigten und in ihrer Mitte kreisförmig durchbohrten Messingplatte H K (s. umstehende beide Figuren für das Positionsmikrometer) ein horizontaler Faden F G und bei dem Positionsmikrometer noch ein verticaler D E befestigt. Auf dieser Platte sind zwei feine Schieber m m' und n n', zwischen welchen und der Platte sich eine zweite, ebenfalls durchbohrte Platte, parallel mit der ersten, mittelst einer feinen Schraube A b c auf und ab bewegen läßt. Diese zweite Platte, der Schlitten, ist ebenfalls mit einem horizontalen Faden f g versehen, der sich, wenn die zweite Platte durch ihre Schraube bewegt wird, parallel mit

dem ersten·FG auf und ab bewegt. Diese Schraube trägt bei ihrer Handhabe A einen Inder b, der während der Umdrehung der Schraube auf einer eingetheilten Scheibe B herumgeht und dadurch auch z. B. den hundertsten Theil einer Umdrehung dieser Schraube anzeigt. Wenn diese Schraube, wie hier vorausgesetzt wird, sehr feine und durchaus gleiche Windungen hat, so wird man dadurch die senkrechten Distanzen zweier Gestirne sehr genau bestimmen können, wenn einmal der Werth einer ganzen Umdrehung der Schraube bekannt ist. Zu diesem Zwecke stellt man zuerst beide Fäden fg und FG genau auf einander, so daß sie sich decken und nur einen einzigen zu bilden scheinen, und bemerkt für diesen Stand des beweglichen Fadens den Ort des Zeigers b auf der eingetheilten Scheibe B. Dann schraubt man den beweglichen Faden fg so weit über oder unter dem festen FG, bis beide Fäden irgend ein Gestirn, z. B. die Sonne d an ihrem oberen und unteren Rande genau berühren, und bemerkt wieder den Stand des Zeigers auf der Scheibe. Gesetzt der Durchmesser der Sonne betrage volle 32 Minuten und die Schraube macht $40^1/_4$ Umgänge, um diesen Durchmesser zwischen den beiden Fäden des Mikrometers zu fassen, so folgt daraus, daß ein ganzer Umgang der Schraube 47,7 Secunden und daher jeder hundertste Theil derselben 0,477 Secunden betrage. Sind umgekehrt die Verhältnisse der Schraube bekannt, so würde aus $40^1/_4$ Umgängen der Schraube ein Sonnendurchmesser von 32 Minuten sich ergeben.

I.



II.



Um den Gebrauch dieser Mikrometer, namentlich des Positionsmikrometer, noch mehr zu veranschaulichen, nehmen wir an, daß das Fernrohr im Meridiane so aufgestellt sei, daß der Faden FG horizontal und DE vertical steht. In dieser Stellung läßt man einen bekannten Firstern, der nicht weit von einem Planeten abstehen möge, durch das Feld des Fernrohres gehen und schraubt den beweglichen Faden fg auf ihn, so daß der Stern, während er durch das Gesichtsfeld geht, die ganze Länge dieses Fadens zurücklege. Zugleich betrachtet man auch seinen Durchgang durch den festen verticalen Faden DE. — Dasselbe thut man auch mit dem bald darauf folgenden Planeten und bemerkt zugleich, wie viel Umdrehungen man die Schraube hat machen lassen, um den beweglichen Faden von seiner letzten Stelle, an welcher er den Stern traf, auf diejenige zu bringen, wo der Mittelpunkt des Planeten durch ihn ging. Diese Anzahl der Umdrehungen mit 47,7 multiplicirt giebt sofort die Differenz der Deklinationen beider Gestirne, und die Zwischenzeit, welche von dem Appulse des Firsternes durch den Verticalfaden DE bis zu dem des Planeten verflossen ist, giebt die Differenz der Rectascensionen beider Gestirne. Da man nun die Rectascension und Deklination des Firsternes bereits kennt, so erhält man dadurch auch sofort die Rectascension und Deklination des Planeten.

Herschel *) hat den beweglichen Faden überdies drehbar gemacht, so daß

*) Phil. Transact. f. 1781.

er ihn gegen den festen in alle mögliche Neigungen bringen konnte. Hierdurch konnte er den Positionswinkel direct messen, indem er den beweglichen Faden durch beide Sterne gehen ließ.

Die Faden der Fadenmikrometer machte man anfangs aus Silber; so verfuhr z. B. Malvasia, dann brachten Auzout und Picard Coconfäden in Anwendung, eben so wurden Haare und 1707 von La Hire und in neuerer Zeit wieder von Brewster Glasfäden vorgeschlagen, später wählte man Spinnefäden und neuerdings hat man den noch feineren Fäden aus Gold oder Platin den Vorzug gegeben, deren Anfertigung Wollaston beschrieben hat *).

Uebelstände, mit welchen die Fadenmikrometer verbunden sind, bestehen in der Wirkung der Inflexion, in dem todten Gange der Schraube, dem die Mechaniker jetzt allerdings fast vollständig abzuhelfen wissen, in der Nothwendigkeit dieselben zu beleuchten, wodurch die Beobachtung eines sehr lichtschwachen Sternes ganz unmöglich werden kann, — Arago's Vorschlag, mit Hülfe des elektrischen Stromes der voltaschen Säule die Fäden selbst leuchtend zu machen, ist wohl wegen der dadurch bedingten Erhitzung unpraktisch — und daß man sich derselben nur zur Messung von Distanzen senkrecht auf die Richtung der täglichen Bewegung bedienen kann. Andererseits ist aber der Vorzug anzuerkennen, daß man mit Leichtigkeit die Werthe aller Arten von Winkeln, die zwischen Null und der Größe des Gesichtsfeldes des Fernrohres liegen, erhält.

B. Flächenmikrometer.

Grimaldi und Riccioli schätzten die Winkel, unter denen die Planeten erscheinen, mit Hülfe von papiernen Kreisen, deren Durchmesser bekannt war, und die in bestimmten Entfernungen aufgestellt wurden. Statt dieses mangelhaften Verfahrens brachte Huygens im Brennpunkte des Objectivs des Fernrohres einen dreieckigen Metallstreifen an, welcher zwischen zwei, einander an den Seiten des Rohres gegenüberstehenden, Führungen verschoben werden konnte. Andere ersetzten dies Huygens'sche Probeplättchen durch eine dreieckige Spalte. Schließlich kam man auf das Kreismikrometer, welches als das einfachste und genaueste Flächenmikrometer einer näheren Angabe bedarf.



Das Kreismikrometer besteht aus einem einfachen Kreise in dem Brennpunkte des Fernrohres (s. nebenstehende Figur) und man beobachtet in E und C den Eintritt, so wie in E' und C' den Austritt der Sterne aus der Peripherie desselben. — Nimmt man nämlich die Mitte der Ein- und Austrittszeit eines jeden der beiden Gestirne, so erhält man dadurch diejenigen Augenblicke, wo diese Gestirne in der Mitte ihrer Sehnen EE' und CC', oder wo sie in den Punkten F und D waren,

*) Man befestigt einen Platindraht in der Axe einer hohlen, cylindrischen Form, welche man dann mit geschmolzenem Silber ausfüllt. Den erhaltenen Silbercylinder, der mithin den Platindraht einschließt, zieht man auf einem Drahtzuge möglichst aus und löst dann das den mit ausgezogenen Platindraht umgebende Silber durch siedende Salpetersäure auf, welche das Platin nicht angreift und somit den überaus dünnen Platindraht zu Tage fördert.

in welchen ein auf diese Sehnen senkrechter Halbmesser O M diese Sehnen halbirt, und dann wird die Differenz beider Augenblicke die Differenz der Rectascensionen der beiden Gestirne sein.

Auch die Differenz der Deklinationen kann man aus denselben Ein- und Austritten erhalten, da man O D und O F aus C D, E F und dem bekannten Halbmesser des Kreises berechnen kann, aber O F — O D nichts anderes ist, als die Deklinationsdifferenz. Nämlich aus der halben Zwischenzeit der Beobachtungen findet man die halben Sehnen C D und E F, wenn man dieselben mit dem 15fachen Cosinus der Deklination multiplicirt.

Bei dem Kreismikrometer muß der Halbmesser des Kreises genau bestimmt sein. Am sichersten geschieht dies durch zwei Fixsterne, deren Deklinationsdifferenz D nahe gleich dem Durchmesser dieses Kreises ist, so daß also jeder derselben — der eine oben und der andere unten — eine sehr kleine Sehne in dem Felde des Kreismikrometers beschreibt. Die Plejadensterne eignen sich besonders zu diesen Bestimmungen. Ist nun Q die durch D dividirte Summe der Quadrate der halben Sehnen oder der halben beobachteten Zwischenzeiten in Zeitsecunden ausgedrückt, und nennt man q das Quadrat von dem 15fachen Cosinus der Deklination der Mitte zwischen beiden Sternen, so ist der gesuchte Durchmesser des Kreises gleich $D + Q q$.

Zu diesem Zwecke kann man schon die dem Auge nächste innere Blendung (Diaphragma) benutzen, welche in jedem Fernrohre enthalten ist, wenn man sie zuvor auf einer Drehbank genau kreisförmig ausdrehen läßt. Bequemer zur Beobachtung wird ein feiner metallener Ring sein, welcher in der Ebene jener Blendung durch zwei oder drei Stifte befestigt wird, und wenn er etwas kleiner als die Oeffnung dieser Blendung ist, den Vortheil gewährt, daß man die kommenden Sterne vor ihrer Beobachtung sehen und den Eintritt sowohl, als auch den Austritt derselben an den beiden Rändern des Ringes beobachten kann. Die vorhergehende Bestimmung des Halbmessers wird zugleich ein gutes Mittel geben zu prüfen, ob der Ring an seinen beiden Seiten in der That vollkommen kreisförmig, also zu dieser Art von Beobachtungen geeignet ist. Zu diesem Zwecke braucht man nur diesen Ring nach jeder Beobachtung eines Sternenpaares ein wenig in seiner Ebene zu drehen und die beiden Sterne an anderen Punkten der Peripherie durchgehen zu lassen, um zu sehen, ob man für den Halbmesser des Ringes wieder denselben Werth erhält. Was dieses einfache Mikrometer vor allen anderen besonders empfiehlt, ist der Umstand, daß unsere Künstler einen vollkommenen Kreis viel leichter als eine gerade Linie von gegebener Neigung darzustellen vermögen, und daß die Beobachtungen an einem solchen Kreise auch ohne besondere Beleuchtung in dem verfinsterten Fernrohre angestellt werden können. Um alle Verbiegungen der Ringe unmöglich zu machen, werden nach Fraunhofer Stahlringe in runde Oeffnungen eines Planspiegelglases durch Eintreiben befestigt und hierauf die zu beiden Seiten der fixirten Ringe hervorstehenden scharfen Ränder vollkommen kreisförmig abgedreht. Auch hat Fraunhofer es versucht, auf Spiegelglas concentrische Ringe einzureißen oder zu ätzen.

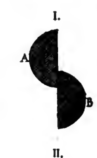
C. Dioptrische Mikrometer.

Dioptrische Mikrometer könnte man diejenigen nennen, deren Wirkung auf Refractionsverhältnissen des Lichtes beruht. Es gehört hierher: 1) das

Objectivmikrometer, 2) das Bergkrystallmikrometer und 3) das Ocularmikrometer.

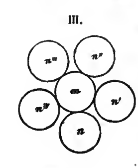
1) Das Objectivmikrometer hat das Wesentliche, daß durch das Objectiv des Fernrohres selbst zwei Bilder von demselben Objecte erzeugt werden. Der zu Grunde liegende Gedanke ist zuerst von Bouguer *) klar aufgefaßt, indem er zwei Objective von gleicher Brennweite neben einander an dem einen Ende eines einzigen Rohres anbrachte, an dessen anderem Ende für beide ein einziges Ocular war. Er nannte dies Instrument Heliometer (v. d. griech. ἥλιος, Sonne, und μέτρον, Maß). Dollond (1754) und Fraunhofer haben dies Mikrometer bedeutend vervollkommnet, insbesondere durch die von dem ersteren vorgeschlagene Abänderung, das Objectivglas des Fernrohres selbst in der Richtung des Durchmessers des Glases in zwei Stücke zu zerschneiden. Es ist klar, daß die beiden Stücke der Linse, wenn sie neben einander liegen, nur ein Bild im Brennpunkte erzeugen, da sie dann nur eine einzige Linse bilden; trennt man aber dieselben und bringt sie in eine Lage, wie nebenstehende Fig. I. dies veranschaulicht, so werden zwei Bilder entstehen, da jedes Stück eben so wie die ganze Linse wirkt. Verschiebt man die Hälfte B, während A an seiner Stelle bleibt, so wird das von A erzeugte Bild m (s. Fig. II.) unverrückt bleiben, aber das von B erzeugte Bild n auch verschoben werden. Hierbei kömmt es nun darauf an, den Weg genau zu messen, welchen B durchlaufen muß, damit die beiden Bilder m und n genau zur Berührung gelangen, denn dadurch erhält man den Werth des Winkels, unter welchem der scheinbare Durchmesser a b des zu messenden Himmelskörpers erscheint. Die Verschiebung der einen Linsenhälfte wird in ähnlicher Weise wie bei dem Schraubenmikrometer mittelst einer Mikrometerschraube zu Stande gebracht. Nehmen wir an, daß die Messung an der Sonne vollzogen sei, so haben wir den Sonnendurchmesser erhalten. Wollen wir prüfen, ob der Sonnendurchmesser in allen Richtungen derselbe sei, so lassen wir, sobald die beiden Bilder zur Berührung gekommen sind, die Halblinse B sich um sich selbst drehen. Das Bild n wird sich hierbei allmälig verrücken, die Stellungen n', n'', n''' . . . (s. Fig. III.) einnehmen, und wenn der Sonnendurchmesser in allen Richtungen derselbe ist, so wird natürlich — vorausgesetzt, daß das Fernrohr parallatisch aufgestellt ist — allenthalben Berührung der beiden Bilder stattfinden.

I.



II.

III.

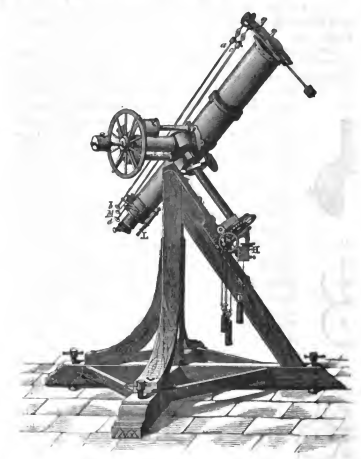


Die vollkommensten Heliometer sind wohl die in Königsberg, Pulkowa und Oxford **). Von

*) Mémoir. de l'Acad. Paris 1748. Lalande, Astron. §. 2439. 2440.

**) Königsberger Beobachtungen. Bd. XV. Description de l'Observatoire de Poulcova; Astronomical Observations made ad the Radcliffe-Observatory. T. XI.

dem Königsberger Instrumente theilen wir eine Abbildung mit. Neben dem Fernrohre laufen zwei Schlüssel a b, c d (s. beistehende Fig.) mit deren Hülfe der Beobachter, ohne das Ocular zu verlassen, nach Belieben die beiden Objectivhälften zusammen um die Axe des Fernrohres drehen oder die Schraube in Bewegung setzen kann, welche die bewegliche Hälfte des Objectives verrückt. L ist ein



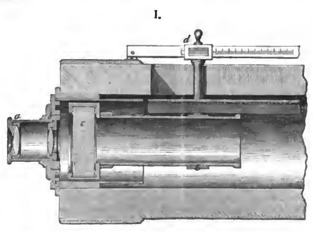
Sucher, um das Auffinden des Sternes zu erleichtern. Mittelst der Handhabe M kann dem Sucher eine Drehung um das Hauptfernrohr ertheilt werden. Die Aufstellung des Instrumentes ist parallatisch, und es kann dasselbe nach Belieben mit dem Uhrwerke H in Verbindung gesetzt werden, um dann dem beobachteten Gestirne auf seiner täglichen Bahn am Himmelsgewölbe zu folgen.

In neuerer Zeit wird das Heliometer namentlich zur Beobachtung der Phasen zur Zeit der Mond- und Sonnenfinsternisse angewendet. Bessel hat es namentlich bei seinen Untersuchungen über die Doppelsterne benutzt. Wegen genauer Be-

schreibung des Heliometers müssen wir auf die bereits angeführten literarischen Nachweise uns beziehen, außerdem führen wir noch an: Hansen, ausführliche Methode mit dem Fraunhofer'schen Heliometer Beobachtungen anzustellen, Gotha 1827, wo das auf der Seeberger Sternwarte befindliche Fraunhofer'sche Instrument beschrieben ist *).

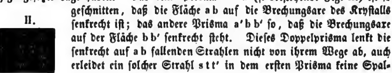
2) Das Bergkrystallmikrometer beruht auf der doppelten Brechung des Bergkrystalls (s. Art. Brechung, doppelte, Bd. I. S. 892), und Rochon scheint der erste gewesen zu sein, welcher die Anwendung zu dem in Rede stehenden Zwecke gemacht hat, wiewohl Maskelyne und Boscowich Prioritätsansprüche erhoben haben. Im Jahre 1768 machte Rochon den ersten Vorschlag, aber erst 1778 kam derselbe zur Ausführung in zwei achromatischen Prismen aus Bergkrystall, welche vor dem Fernrohre befestigt wurden und vier Bilder von dem Objecte gaben. Später änderte er das Mikrometer dahin ab, daß nur zwei Bilder entstanden und der Apparat hinter dem Oculare a b eingesetzt wurde, wie in der beistehenden Fig. I. deutlich zu sehen ist, wo c das Prisma vorstellt, welches mittelst einer gezähnten Stange d längs der Axe des Fernrohrs bewegt werden kann.

I.



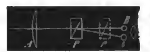
Es besteht nun das Rochon'sche Prisma aus zwei gleichen Prismen von Bergkrystall, welche so an einander gefügt sind, daß die brechenden Winkel entgegengesetzte Lage haben. Das eine Prisma a a' b (s. beistehende Fig. II.) ist so geschnitten, daß die Fläche a b auf die Brechungsaxe des Krystalls senkrecht ist; das andere Prisma a' b b' so, daß die Brechungsaxe auf der Fläche b b' senkrecht steht. Dieses Doppelprisma lenkt die senkrecht auf a b fallenden Strahlen nicht von ihrem Wege ab, auch erleidet ein solcher Strahl s t t' in dem ersten Prisma keine Spal-

II.



*) Letztere Beschreibung findet sich auch in: Wörterbuch der angewandten Mathematik von Jahn. Leipzig 1847. Art. Heliometer. Bd. I. S. 584. Vergl. auch Schumacher's astr. Nachr. Nr. 189.

tung, wohl aber wird er beim Eintritte in das zweite Prisma an der gemeinschaftlichen Oberfläche in zwei Bündel gespalten: in den gewöhnlichen Strahl t'g, der seinen Weg ungeändert verfolgt, und in den ungewöhnlichen Strahl t'u. Wird nun ein solches Prisma zwischen das Objectiv des Fernrohres und das im Brennpunkte desselben erscheinende Bildchen gesetzt, so wird jeder Strahlenkegel in zwei Theile getheilt, und es müssen daher im Brennpunkte zwei Bilder erscheinen. Ob sich dieselben zum Theil decken oder nicht, hängt ab theils von ihrer Größe, theils von dem Abstande des Prisma. Gesetzt es sei in beistehender Fig. A das Objectiv, P das Prisma, B und b die getrennten Bilder, so werden sich diese berühren, wenn man das Prisma aus P nach p setzt.



Natürlich wird dies um so eher eintreten, je größer die Bilder sind, je größer mithin die scheinbare Größe des Gegenstandes ist. Um die Berührung zu Stande zu bringen, ist an der Röhre eine Verschiebungsvorrichtung angebracht mit einer Scala, welche die Grade des Sehwinkels angiebt, unter welchem das gesehene Object erscheint. Wäre anders woher die wahre Größe des Gegenstandes bekannt, so ließe sich auch die Entfernung desselben bestimmen.

Pearson *) versuchte ein solches Prisma zwischen dem Ocular und dem Auge des Beobachters anzubringen, und erhielt auch in diesem Falle zwei sehr deutliche Bilder. Hierbei kam er zu dem Resultate, daß der constante Winkel eines Prismas von doppelter Brechung, dividirt durch die Vergrößung eines Fernrohrs, das wahre Maß des beobachteten Winkels ist, wie er durch dasselbe Prisma, in Berührung mit dem Auge, in diesem Fernrohre gesehen wird. Es sei z. B. der Winkel des Prisma 30 Minuten und die Vergrößerung des Fernrohrs 60, so hält der so gemessene Winkel $^{30}/_{60}$ Minuten oder 30 Secunden. Man muß also den constanten Winkel des Prisma und die Vergrößerung des Fernrohres vor dem Gebrauche ermitteln.

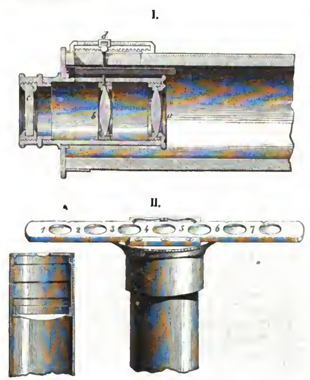
3) Das Ocularmikrometer ist von Arago **) angegeben und zwar in doppelter Ausführung mit veränderlicher und mit constanter Vergrößerung. Das Ocularmikrometer mit veränderlicher Vergrößerung ist das Bergkrystallmikrometer mit Pearson's Abänderung, und besteht das Ocular aus zwei Linsen a und b (s. umstehende Fig. I.), von denen die eine b mittelst einer gezahnten Stange verschiebbar ist. Das Bergkrystallprisma c ist sehr dünn und achromatisch und befindet sich an der Stelle vor der Ocularlinse, wo man das bei den Sonnenbeobachtungen zur Abschwächung des allzu lebhaften Glanzes gebräuchliche gefärbte Glas anbringt.

Das Ocularmikrometer mit constanter Vergrößerung besteht in einer Anzahl Schiebern, von denen jeder 7 Prismen enthält, ein wenig breiter als die Pupille, und sich der Reihe nach um 15 oder 30 Secunden im Winkel unterscheidend. Der Schieber wird (s. umstehende Fig. II.) in einer Rinne vor der

*) Mem. of the astron. Soc. T. I. p. 67. 82 u. 102.

**) Arago's sämmtliche Werke, deutsch von Hankel. Leipzig 1856. Bd. XII. oder Populäre Astronomie. Bd. II. S. 72.

Ocularhülse verschoben, bis ein Prisma ermittelt ist, durch welches man die beiden Bilder in Berührung sieht.



Beide Prismen scheinen wenig praktisch, da, um nur bis zu **einer Bogenminute** messen zu können, bei dem letzteren Mikrometer schon mehr als 800 Prismen erforderlich wären, und eben so ist es bei dem ersteren ein großer Uebelstand, daß die Bilder an ihrer Schärfe verlieren, wenn die beiden Ocularlinsen nicht genau in dem Abstande stehen, bei welchem ihre Wirkung die möglichst beste ist.

Außer den beschriebenen Mikrometern sind noch manche andere Vorschläge gemacht worden, die entweder gar nicht in Ausführung gekommen sind oder sich nicht praktisch bewährt haben, weshalb wir auf ihre nähere Einrichtung nicht eingehen. Nur einige wollen wir wenigstens namhaft machen.

Das **Zenithmikrometer** von **Babbage** *) hat das Eigenthümliche, daß das Fernrohr mit einem Parallelogramme in Verbindung steht, dessen vier

*) Mem. of the astron. Society. T. II. p. 101.

Seiten in ihren Ecken genau mit einander verbunden sind, von denen aber die eine horizontale Seite etwas verlängert oder verkürzt werden kann.

Powell *) hat ein neues Mikrometer mit doppeltem Bilde vorgeschlagen, dessen wesentlicher Theil ein halbkreisförmiges, planparalleles Glas ist in der Mitte des Strahlenkegels, der vom Objective zum Oculare geht. Das Glas ist von außen drehbar.

Herschel bediente sich bei seinen Beobachtungen der Doppelsterne eines Lampenmikrometers, indem er durch zwei kleine Laternen, welche mittelst dünner Metallplättchen geschlossen werden konnten, sich zwei kleine Lichtpunkte in feinen Oeffnungen jener Platten verschaffte, die er einander nähern oder von einander entfernen konnte. Mit dem einen Auge blickte er in sein Spiegelteleskop, mit dem anderen auf die außerhalb des Fernrohres stehenden Lichtpunkte **).

Brewster ***) hat mehrere Mikrometer vorgeschlagen. Das eine derselben hat zwei parallele, feststehende Faden und durch eine Steigerung oder Verminderung der Vergrößerung des Fernrohres will er die Berührung mit beiden Fäden erzielen.

Cavallo ****) hat ein Perlmuttermikrometer angegeben.

Erfinder des Fadennetzes soll Montanari sein, wiewohl gewöhnlich der Marquis Cornelius Malvasia, Senator zu Bologna, als solcher angegeben wird *****). Die erste Beschreibung des Mikrometers von Huyghens findet sich in seinem Systema Saturnium Haag. 1659. p. 82. In historischer Hinsicht ist auch zu vergleichen: Balthasaris Micrometria, Erlang. 1710. Cap. III. und Lalande und Delambre in Hist. de l'Astron. au XVIII. siècle, p. 616 — 618. In der Mitte des 17. Jahrhunderts waren die Mikrometer noch unbekannt. Wegen des astronomischen Gebrauchs der Mikrometer und des Heliometers verweisen wir noch auf Brünnow, Lehrbuch der sphärischen Astronomie, Berlin 1851. S. 541 — 591. H. E.

Mikroskop (v. d. griech. μικρός, klein, und σκοπέω, ich betrachte) ist ein Werkzeug, welches dazu dient, nahe kleine Gegenstände vergrößert zu erblicken und zu beobachten. Es ist ein Sehrohr für die Nähe, während das Teleskop ein solches für die Ferne ist. Im Allgemeinen erscheint zwar ein Gegenstand um so größer, je größer der Sehwinkel ist, unter welchem derselbe erblickt wird, d. h. der Winkel, welchen die beiden von den äußersten Punkten des Gegenstandes in das Auge gelangenden Lichtstrahlen bilden, und da dieser Sehwinkel mit der Annäherung des Gegenstandes an das Auge wächst, so scheint es, als ob man durch die bloße Annäherung die erwünschte Vergrößerung bewirken könne; indessen die Entfernung des deutlichen Sehens setzt diesem Verfahren eine Grenze, indem der Gegenstand, sobald er dem Auge näher kommt, als diese Grenze vorschreibt, an Deutlichkeit verliert, weil die von jedem einzelnen Punkte

---

*) Instit. No. 648. p. 190.

**) Arago a. a. O. S. 64. Vergl. Phil. Transact. Vol. LXXII.

***) Brewster, philosophical instruments. 1813.

****) Philos. Transact. f. 1791.

*****) Arago a. a. O. Bd. II. S. 49 und 162.

des Gegenstandes ausgehenden Strahlen alsdann zu stark divergiren. (Vergl. Art. Sehen.) Das Bild eines jeden Punktes des Gegenstandes würde zu weit hinter die Krystalllinse fallen, und mithin ein undeutliches Bild geben. Durch eine Converlinse (s. Art. Linsenglas) wird die Divergenz der Strahlen vermindert, ihr Vereinigungspunkt der Krystalllinse genähert, und so können die Bilder der einzelnen Punkte jetzt auf die Netzhaut fallen, wodurch von dem ganzen Objecte ein deutliches Bild gewonnen wird. Oder — um die Sache noch auf eine andere Weise deutlich zu machen — die von dem zu sehr dem Auge genäherten und deshalb undeutlich erscheinenden Gegenstande ausgehenden Lichtstrahlen werden durch ein zwischen das Auge und den Gegenstand eingeschobenes Converglas weniger divergent gemacht und scheinen mithin von einem weiter abstehenden Gegenstande zu kommen, ohne daß dadurch der Sehwinkel verringert worden wäre. Der Gegenstand muß folglich vergrößert erscheinen. Bedingung ist hierbei nur, daß der Gegenstand sich innerhalb der Brennweite der Converlinse befindet.

Man unterscheidet einfache und zusammengesetzte Mikroskope. Jene, auf welche im Vorstehenden eigentlich nur Rücksicht genommen ist, bestehen aus Einer Linse oder aus mehreren unmittelbar hinter einander stehenden, und der zu beobachtende Gegenstand befindet sich innerhalb der Brennweite derselben; diese bestehen im Allgemeinen aus zwei Converlinsen, die von einander weiter abstehen, und der zu beobachtende Gegenstand befindet sich außerhalb der Brennweite der sogenannten Objectivlinse.

1. Einfaches Mikroskop.

Im Allgemeinen kann jede Converlinse als einfaches Mikroskop benutzt werden, doch nennt man vorzugsweise nur solche Converlinsen einfache Mikroskope, deren Brennweite viel kleiner ist, als die Entfernung des deutlichen Sehens. Beträgt die Brennweite $^1/_2$ bis 2 Zoll, so heißt die Converlinse Loupe, beträgt dieselbe noch weniger, so hat man eine eigentliche mikroskopische Linse.

Ist L S (s. beistehende Figur) eine Converlinse von kurzer Brennweite, a b ein kleiner Gegenstand, der innerhalb der Brennweite, aber nahe an dem Brennpunkte der Linse sich befindet, so erhält das Auge o die von dem Gegenstande ausgehenden Lichtstrahlen so, als ob dieselben von dem entfernteren Gegenstande (Bilde) a′b′ herkämen (s. Art. Linsenglas). Je näher der Gegenstand a b an dem Brennpunkte steht, desto weiter steht das Bild a′b′ von der Linse ab; man kann es daher durch allmälige Annäherung oder Entfernung des Gegenstandes a b in Beziehung auf den Brennpunkt dahin bringen, daß das Bild a′b′ in der Entfernung des deutlichen Sehens steht und mithin dem Auge o deutlich erscheint. Hat man das Letztere erreicht, so läßt sich die Vergrößerung, welche die Linse gewährt, leicht bestimmen. Setzen wir voraus, daß die Dicke der Linse unbedeutend ist und sich diese selbst dem Auge sehr nahe befindet, so daß man das Auge als in dem optischen Mittelpunkte der Linse stehend annehmen kann, so erhalten wir



$$a'b' : ab = oc' : oc,$$

also die Vergrößerung $$\frac{a'b'}{ab} = \frac{oc'}{oc}.$$

Nun ist (s. Art. Linsenglas) $\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{f}$, und zwar hier $oc = a$, und $oc' = \alpha$, ferner muß, da oc kleiner als die Brennweite f ist, $\frac{1}{\alpha}$ negativ gesetzt werden, folglich ist $\frac{1}{oc} - \frac{1}{oc'} = \frac{1}{f}$ und $\frac{oc'}{oc} = 1 + \frac{oc'}{f}$.

Bezeichnen wir oc' als die Entfernung des deutlichen Sehens mit d, so ist also die Vergrößerung überhaupt $= \frac{d}{f} + 1$, wofür man jedoch gewöhnlich nur $\frac{d}{f}$ nimmt, da f bedeutend kleiner als d sein soll. Nehmen wir z. B. die normale Sehweite zu 10″ an, so würde eine Loupe von 0,5″ Brennweite eine Vergrößerung = 20 geben, und eine mikroskopische Linse von 0,1″ Brennweite eine solche = 100, oder genauer im ersten Falle = 21, im zweiten = 101.

Die lineare Vergrößerung ist also bei einem einfachen Mikroskope gleich dem Quotienten aus der Brennweite der Linse in die Entfernung des deutlichen Sehens. Die Flächenvergrößerung giebt das Quadrat dieser Zahl und die Volumenvergrößerung der Cubus derselben. Je kleiner die Brennweite der Linse ist, um so stärker ist also die Vergrößerung, allerdings mit Berücksichtigung der verschiedenen Sehweite der verschiedenen Augen, so daß dieselbe Linse für ein weitsichtiges Auge eine stärkere Vergrößerung giebt, als für ein kurzsichtiges. Wir sehen aber nur Flächen und nicht Körper, weshalb man gewöhnlich die Flächenvergrößerung als Vergrößerungszahl angiebt.

Das Gesichtsfeld, d. h. in diesem Falle der Raum, welcher durch eine mikroskopische Linse auf einmal übersehen werden kann, ist im Allgemeinen um so kleiner, je stärker sie vergrößert; denn wenn in obiger Figur aob der größte Winkel ist, welcher von dem Auge durch die Oeffnung der Linse überblickt werden kann, so muß das Object ab offenbar kleiner werden, um in denselben Winkelraum hineinzupassen, wenn es der Linse näher steht, d. h. wenn die Brennweite kleiner, also die Vergrößerung stärker wird.

Die Deutlichkeit ist um so größer, je geringer die sphärische und chromatische Abweichung (s. d. Art. Bd. I. S. 99 und 100) ist. Bei starken Vergrößerungen ist überdies eine starke Beleuchtung nothwendig, welche man zuweilen mit Hülfe eines kleinen zweckmäßig angebrachten Hohlspiegels bewirkt, des sogenannten Lieberkühn'schen Spiegels. Das Licht nämlich, welches auf das Object fällt, muß nun auch das vergrößerte Bild erleuchten, und da die Fläche desselben im Quadrate der linearen Vergrößerung größer ist, so ist die Helligkeit des Bildes in demselben Verhältnisse schwächer; soll mithin das Bild dieselbe Helligkeit wie das Object haben, so muß die Beleuchtung im Verhältnisse des Quadrates der Vergrößerung verstärkt werden. Im Allgemeinen ist die Helligkeit des Bildes, welches ein einfaches Mikroskop von der Brennweite f und dem

Halbmesser der Linsenöffnung = r giebt, für eine Entfernung des deutlichen Sehens = 10 Zoll und einen Halbmesser der Pupille = 0,03 Zoll, gleich $\frac{r^2 f^2}{0,09}$. Denn setzen wir voraus, daß das Bild bei unbewaffnetem Auge und bei Anwendung der Linse auf der Netzhaut dieselbe Größe habe, so müßte — die Helligkeit bei unbewaffnetem Auge als Einheit gesetzt — die Helligkeit bei Anwendung der Linse = $\frac{r^2}{0,03^2}$ sein. Betrachtet nämlich ein Auge ein Object ohne Linse, so erhält es von jedem Punkte desselben einen Lichtkegel, dessen Basis die Pupille ist, im anderen Falle aber ist die Basis die Oeffnung der Linse. Nun ist jedoch das Bild bei Anwendung der Linse größer und zwar beträgt die Vergrößerung, wie wir gesehen haben, linear $\frac{d}{f}$ und in der Fläche $\frac{d^2}{f^2}$, also ist die Helligkeit in diesem Verhältnisse kleiner und daher nur $\frac{r^2 f^2}{0,03^2 . 10^2} = \frac{r^2 f^2}{0,09}$.

Endlich, je weiter sich das Auge des Beobachters vom Glase entfernt, desto mehr vergrößert erscheint das Object, aber desto kleiner wird auch das Gesichtsfeld.

Bisweilen braucht man zwei, oder selbst drei sich fast berührende Linsen als Loupe. Nehmen wir an, daß deren zwei von den Brennweiten f_1 und f_2 in der Entfernung = e hinter einander stehen, so fragt es sich, in welcher Entfernung E das Object vor der vorderen Linse sich befinden muß. Für die erste Linse allein müßte $\frac{1}{E} - \frac{1}{\alpha_1} = \frac{1}{f_1}$ sein, und also stände das Bild in der Entfernung $\alpha_1 = \frac{E . f_1}{f_1 - E}$ vor der Linse; dies Bild müßte aber innerhalb der vorderen Brennweite der zweiten Linse nahe bei dem Brennpunkte stehen, also müßte $\alpha_1 = f_2 - e$ sein, folglich

$$f_2 - e = \frac{E . f_1}{f_1 - E},$$

woraus folgt:

$$E = \frac{f_1 (f_2 - e)}{f_1 + f_2 - e}.$$

Stehen die Linsen dicht hinter einander und darf man e = o setzen, so ist folglich:

$$E = \frac{f_1 . f_2}{f_1 + f_2}.$$

Ist z. B. $f_1 = f_2 = 3''$, so ist $E = 1^1/_2''$; ist $f_1 = 4''$ und $f_2 = 3''$, so $E = 1^5/_7''$.

Da man nun die Entfernung E als gemeinschaftlichen Brennpunkt nehmen kann, so ergiebt sich die Vergrößerung durch eine solche Combination für die Entfernung des deutlichen Sehens d im allgemeinen =

$$\frac{d (f_1 + f_2 - e)}{f_1 (f_2 - e)} \text{ und für } e = o, = \frac{d (f_1 + f_2)}{f_1 . f_2};$$

also für $d = 10''$ erhalten wir im ersten Beispiele die Vergrößerung $= 6^2/_3$, im anderen $= 5^3/_8$.

Wollten wir dieselbe Vergrößerung mit einer einzigen einfachen Linse erzielen, so müßte diese eine kürzere Brennweite haben; folglich hätten wir auch eine größere sphärische Abweichung, mithin eine geringere Deutlichkeit, desgleichen ein geringeres Gesichtsfeld und eine geringere Helligkeit, weil man den combinirten Linsen wegen ihrer geringeren sphärischen Abweichung eine größere Oeffnung geben kann *).

Außer den sphärischen Loupen hat man auch noch Cylinderloupen herzustellen versucht, d. h. Glascylinder, welche auf beiden Endflächen sphärisch geschliffen sind. Solche Loupen geben Bilder, die von der sphärischen Abweichung fast ganz frei sind, weil die auf die Objectseite auffallenden Strahlen, wenn diese die schwächer gekrümmte ist, nur auf den mittleren Theil der dem Auge zugekehrten Seite treffen. Coddington und Brewster haben unwesentliche Veränderungen vorgeschlagen. Daß diese Loupen sehr nahe an das Object gehalten werden müssen, ist ihrem Gebrauche hinderlich.

Die Einrichtung der Loupen ist äußerst einfach. Da sie in der Regel nur aus einer Convexlinse bestehen, deren Oeffnung über $^1/_2$ Zoll beträgt, so braucht man sie nur mit einer Fassung zu versehen und sie sind zum Gebrauche fertig. Diese Fassung besteht meistens aus einem Ringe von Horn, Holz oder Elfenbein, seltener aus Metall. Man macht die Linse meistens gleichseitig, damit man sie mit gleicher Wirkung von jeder Seite brauchen kann, nur solche, welche in geübtere Hände kommen, werden planconvex oder mit verschiedenen Krümmungen, deren Radien im Verhältnisse 1 : 6 stehen, gemacht. Dann müssen sie aber stets mit der convexen Seite gegen das Object gerichtet sein.

Werden zwei sich fast berührende Linsen von verschiedener Brennweite combinirt, damit man mit jeder einzelnen eine besondere Vergrößerung und mit beiden zugleich eine dritte Vergrößerung erlangen kann, so werden sie meistens in Ringe gefaßt, die einen Handgriff haben, mit dem sie mittelst eines Charniers in eine Deckelvorrichtung passen. Eine Fassung aus Horn ist für diese nicht zweckmäßig, weil diese sich leicht verzieht und dann die Axen beider Linsen, wenn sie über einander liegen, leicht von einer geraden Linie etwas abweichen. Es ist gut, sie durch eine mit einer Oeffnung versehenen Zwischenplatte von einander zu trennen, welche nur die der gemeinschaftlichen Axe nahen Strahlen durchläßt und der aus dem Gebiete der ganzen Oeffnung hervorgehenden Undeutlichkeit steuert.

Will man mit einer einfachen Loupe ein starke Vergrößerung erzielen, so braucht man sie nur in eine lange Röhre zu fassen, an einem Ende die Linse einzusetzen, am anderen die Oeffnung für das Auge anzubringen. Daß man diese stärkere Vergrößerung aber nur auf Kosten des Gesichtsfeldes erlangt, ist bereits oben erwähnt worden.

Wenn man eine Linse in eine Röhre faßt, deren Länge der Brennweite der Linse gleich ist, und an dem der Augenöffnung entgegengesetzten Ende einen Deckel mit einem quadratförmigen Loche anbringt, dessen Seiten mit einer feinen Linienscala versehen sind, so kann man den Apparat als Leinwandmesser brauchen, weil die Anzahl der auf eine Seite des Ausschnittes fallenden Fäden mit der Feinheit und Dichte des Gewebes zusammenhängt.

---

*) Emsmann, physikalische Aufgaben. Leipzig 1852. S. 95. Aufg. 5.

Einfache Mikroskope werden in der Regel mit einer Metallfassung versehen, die zugleich eine Zange, einen in eine feine Spitze auslaufenden Stift und dergleichen anzubringen gestattet. Scharfe Linsen bekommen an der Rückseite der Fassung den oben erwähnten Lieberkühn'schen metallenen Hohlspiegel, der die Helligkeit erhöht, indem er die die Linsen verfehlenden Strahlen auf das Object zurückwirft. Es ist kaum möglich, eine mikroskopische Linse zu verfertigen, deren Brennweite kleiner ist als 0,4 Linien und diese vergrößert linear 300 Mal bei einer Entfernung des deutlichen Sehens von 10 Zoll, oder 240 Mal bei einer Annahme von 8 Zoll, ja selbst die Verfertigung solcher Linsen fordert schon eine große Geschicklichkeit. Will man mittelst eines einfachen Mikroskops eine stärkere Vergrößerung hervorbringen, so muß man entweder Diamant- oder Saphirlinsen anwenden *), oder sich mit einem Glaskügelchen begnügen, welches aber nie die Deutlichkeit einer ordentlichen Linse giebt. Man erhält solche Kügelchen, wenn man einen feinen Glasfaden in eine Stichflamme hält und das sich sehr schnell bildende Knöpfchen abbricht. Brewster **) lehrt Wassertropfen, Fischaugen und dergleichen statt einfacher Linsen mit Vortheil gebrauchen. Ein Wassertropfen, der freilich den Nachtheil hat, daß er unaufhörlich seine Krümmung ändert und in kurzer Zeit durch Verdunstung verschwindet, gewährt, wenn man ihn auf ein mit einem feinen Loche versehenes Metallplättchen bringt, sogar zwei verschiedene Vergrößerungen, je nachdem man die Metall- oder Wasserseite gegen das Auge kehrt, indem der Tropfen im ersteren Falle platter ist, als im zweiten. Ein Tropfen Alkohol, Schwefelsäure, Ricinusöl thut noch bessere Dienste, am besten soll ein Tropfen Canadabalsam sein. Alle diese Körper haben nämlich ein größeres Brechungs- und ein kleineres Zerstreuungsvermögen als Wasser, und gestatten darum auch eine größere Oeffnung und geben deutlichere Bilder. — Will man Fischaugen benutzen, so muß die optische Axe der Krystalllinse genau mit der Axe des beobachtenden Auges in parallele Richtung gebracht werden. Nur in dieser Richtung ist das Albumen symmetrisch um eine gegebene Linie angeordnet, und in keiner anderen ist der verschiedene Grad der Dichte — durch den die sphärische Abweichung gehoben wird — in einem symmetrischen Verhältnisse zur Gesichtsaxe. Man öffnet zu diesem Zwecke die Sclerotica eines frisch gefangenen Fisches mit einer scharfen Scheere, nimmt die Linse sammt der Glasfeuchtigkeit heraus und legt sie auf feines Fließpapier, welches vorher von allen Fäserchen gesäubert worden ist. Die absorbirende Eigenschaft des Papieres wird die vorsichtige Entfernung der Glasfeuchtigkeit befördern. Die Axe der Linse durchschneidet in senkrechter Richtung den schwarzen Ring, welcher die Anheftung der Ciliarfortsätze in der Nähe des Aequators der Linse bezeichnet. Die von ihrer Kapsel wie mit einem zarten und glatten Häutchen überzogene, von der Glasfeuchtigkeit völlig befreite Linse wird vorsichtig von dem Papiere in eine Höhlung herabgerollt, welche von einem kupfernen Reifen gebildet wird, der sich auf einer runden Platte von demselben Metalle erhebt, und durch vorsichtige Bewegung ihre Lage so lange verändert, bis sich die schwarzen Fortsätze in paralleler Richtung mit dem Rande der runden Oeffnung an der unteren Fläche oder Platte befinden. Ist dies

*) Art. Linsenglas. Bd. IV. S. 577. Schweigg. Journ. Bd. XLII. S. 376. Fechner's Repertorium. Bd. II. S. 180.

**) Edinburgh Journ. of science. No. III. p. 98.

geschehen, so wird die Axe der Linse senkrecht auf der Platte und parallel mit der Sehare sein. Die so zubereiteten Linsen geben ein sehr vollkommenes Bild, und bleiben einige Stunden wirksam brauchbar. Längere Zeit kann man sie in der Glasfeuchtigkeit oder in einem feuchten Gefäße aufbewahren, ehe sie untauglich werden.

Einfache mikroskopische Linsen werden oft mit ihrer Fassung in ein eigenes Postament eingesetzt, das mittelst einer besonderen Vorrichtung dem Objecte die nöthige Entfernung von Glase zu geben gestattet, und mit einem passenden Beleuchtungsapparate versehen ist *). Als einen solchen ganz vorzüglichen Apparat erwähnen wir das Präparirmikroskop Schacht's **). In Betreff der Loupen bemerkt übrigens Schacht, der in allem auf das Mikroskop Bezügliche die zuverlässigste Autorität ist, daß man bei ihnen weniger auf die starke Vergrößerung als auf die Schärfe des Bildes und auf die Größe des Gesichtsfeldes zu achten habe. Die gewöhnlichen, aus einem planconvexen oder gar einem biconvexen Glase bestehenden Loupen gewährten nur für die Mitte ein richtiges Bild; bei den Doppelloupen sei diesem Uebelstande abgeholfen, diese besäßen in der Regel ein großes Gesichtsfeld, welches in seiner ganzen Ausdehnung ein richtiges Bild gewähre.

Eine sehr zweckmäßige Verwendung der Loupe hat v. Hagenow in seinem Patent-Dicatopter gemacht, einem Zeichenapparate, der an Treue der Darstellung und an Bequemlichkeit bei der Ausführung alle bisher zu ähnlichen Zwecken construirten, z. B. die Camera lucida (Bd. I. S. 929), übertrifft, und da man mit demselben Naturkörper nicht nur in natürlicher oder verkleinerter, sondern auch vergrößerter Größe abbilden kann, in diesem Artikel Erwähnung verdient.



Die Fußplatte a (s. nebenstehende Figur) trägt die hohle Säule b; die in ihr verschiebbare Röhre c wird durch eine Schraube d, welche durch einen Schlitz in b geht, in der verlangten Höhe festgestellt; an c ist oben das horizontale Stück e befestigt, welches dem auf demselben verschiebbaren Objectträger f und dem ringförmigen federnden Halter g, welcher durch die Schraube h befestigt wird, zum Träger dient. In dem federnden Ringe g steckt eine Röhre l, welche oben einen horizontal vorspringenden Arm trägt, an welchem der durch eine gemeinschaftliche Axe verbundene Loupen- und Spiegel-Apparat an einer längsgeschlitzten und dadurch verschiebbaren Zunge, welche durch die Handschraube i festzustellen ist, hängt.

Der Spiegel-Apparat besteht aus einer Platte k, in deren Mitte ein kleiner im

*) Baumgartner's Naturlehre Supplementbd. Wien 1831. S. 625.

**) Das Mikroskop von Schacht. 2. Aufl. Berlin 1855. S. 19 u. Fig. 2 auf Tafel II.

Centrum durchbohrter Stahlspiegel in geneigter Lage befestigt ist; über demselben liegt, ebenfalls in geneigter Lage, ein viereckiger Stahl- oder Glasspiegel. Beide Spiegel sind so gestellt, daß das unter dem zweiten Spiegel mit der Fußplatte in einer Ebene liegende Zeichenpapier durch doppelten Reflex gesehen wird, während das Auge in der horizontalen Richtung m n durch die Oeffnung im ersten Spiegel nach dem Objecte o schaut. Hinter der Spiegelplatte liegen zwei Loupen von verschiedener Stärke. Sie können beliebig bei Seite geschlagen und ihre Fassung kann leicht so eingerichtet werden, daß man auch andere Gläser einsetzen kann. An der Röhre l ist außerdem ein in p befestigter Vorsprung angebracht, der so weit dem Spiegel-Apparate entgegen tritt, daß dieser genau eingestellt ist, wenn er an demselben anliegt.

Soll der Apparat gebraucht werden zur Abbildung eines Objectes — z. B. des Gepräges einer Münze, — so befestigt man dasselbe auf dem Objectträger f mittelst eines Stückchen Wachs oder dergleichen, und stellt — nachdem man die Loupen zurückgeschlagen hat — den Spiegel-Apparat durch Verschieben in dem Ringe g so ein, daß man die Mitte des Objects oder die Mitte der zu zeichnenden Stelle in der horizontalen Richtung m n durch die Oeffnung des geneigten Spiegels sieht. Hierauf schiebt man am besten eine doppelte Lage Zeichenpapier unter die Fußplatte und bringt das Dicatopter selbst in eine solche Stellung, daß das Object von der linken Seite gut beleuchtet ist. Zweckmäßig ist es hierbei, hinter das Object einen Hintergrund von entgegengesetzter Farbe zu bringen. Indem man jetzt, durch die Oeffnung des Spiegels schauend, eine gute geschärfte Bleifeder vertical unter dem Spiegel auf des Papier führt, erblickt man dieselbe durch Reflex auf dem Mittelpunkte des Objects und beginnt nun die Zeichnung, indem man das Schattenbild der Bleifeder auf die zu zeichnenden Theile des Objectes umherführt, zugleich aber die Bleifeder selbst leise über das Papier gleiten läßt. Sollte man hierbei das Bild der Bleifeder plötzlich aus dem Auge verlieren, so braucht man nur ein wenig mit dem Auge vor dem Spiegel hin und her zu wanken. Ist das Bleifederbild zu grell beleuchtet, so hebt man die linke Hand empor und verursacht ein wenig Schatten auf dem Zeichenpapiere.

Ich habe mehrfach mit dem Dicatopter gezeichnet und bin von seinen Vorzügen überzeugt, auch habe ich die Principien, nach welchen der Apparat gebaut ist, und die dabei sonst zur Erscheinung kommenden Verhältnisse einer Untersuchung unterworfen *), auf die ich hier zwar verweisen muß, aber von der ich doch die wesentlichsten Ergebnisse nicht übergehen darf.

Bedingung ist, daß die beiden Spiegel unter 45° zu einander geneigt sind. — Die Entfernung des in dem durchbohrten Spiegel erscheinenden Bildes von dem Durchschnittspunkte der beiden Spiegel ist stets gleich der Entfernung des Papieres von eben demselben Punkte. — Der Spiegelapparat muß verschiebbar sein, um die Mitte des auf dem Objectträger befestigten Objectes bei horizontalem Durchsehen durch den durchbohrten Spiegel ins Auge fassen zu können. — Die Mitte der Zeichnung liegt so weit vor dem Durchschnittspunkte der beiden Spiegel, als die Oeffnung des durchbohrten Spiegels in verticaler Richtung von diesem Durchschnittspunkte entfernt ist. — Deshalb muß, wie die Zeichnung auch

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 242.

zeigt, das horizontale Stück e über das Fußgestell herausspringen und zwar 3 bis 4 Zoll über die Säule b. — Ist E die Entfernung des Durchschnittspunktes der beiden Spiegel von der Papierfläche, die Entfernung des Objectes von der die Entfernung E messenden Strecke = e, die Entfernung der Oeffnung in dem einen Spiegel von dem Durchschnittspunkte beider Spiegel = Z und der Winkel, welchen der durchbohrte Spiegel mit der Strecke E bildet = β, so ist das Größenverhältniß zwischen Bild und Object folgendes:

$$\text{Bild} = \text{Object} \cdot \frac{E + Z \cdot \sin\beta}{e + Z \cdot \sin\beta}.$$

Wenn $E > e$ ist, wird mithin das Bild, für $\beta = o$, so viel Mal größer als das Object, als die Entfernung des Durchschnittspunktes beider Spiegel von der Papierfläche größer ist, als die Entfernung des Objectes von dem durchbohrten Spiegel; wenn $e < E$ ist, wird das Bild so viel Mal kleiner als das Object, als die Entfernung des Objectes von dem durchbohrten Spiegel größer ist, als die Entfernung des Durchschnittspunktes beider Spiegel von der Papierfläche, und endlich wenn $E = e$ ist, wird das Bild von der natürlichen Größe des Objectes.

Will man den Apparat auf eine bestimmte Vergrößerung einstellen, so verfährt man praktisch am besten auf folgende Weise. Es werde z. B. die Stellung für 4malige Vergrößerung gesucht. Man sticht mittelst des Zirkels nach irgend einem Maßstabe $1/_4$ Zoll auf ein Stückchen steifen Papiers oder eine Visitenkarte ab und klebt dasselbe an der Stelle, welche das Object einnehmen soll, mittelst Wachs auf den Objectschieber, so daß die Zirkelstriche vertical über einander liegen. Dann faßt man — wegen der 4maligen Vergrößerung — 4 Mal $1/_4''$ oder 1'' in den Zirkel und legt denselben so aufgesperrt unter die Spiegel auf untergelegtes weißes Papier und bringt die reflectirten Zirkelspitzen mit den beiden gestochenen Punkten auf dem Kartenstücke zur Deckung. Liegen die Punkte noch zu eng für Zirkelspitzen, so erhöht man das Stativ so weit, bis die Zirkelspitzen genau in die Striche passen; im entgegengesetzten Falle wird das Stativ niedriger geschoben. — An dem Apparate sind übrigens die Vergrößerungen an der verschiebbaren Röhre angezeichnet und zwar in drei Colonnen, nämlich für die erste, für die zweite und für beide vereinte Loupen.

Damit das Licht von der Zeichnung oder der Bleistiftspitze direct auf den undurchbohrten Spiegel fallen kann, aber den durchbohrten nicht trifft, so giebt man dem durchbohrten Spiegel eine schräge Stellung und am zweckmäßigsten ist $\beta = 20$ bis 25^0.

Die größte Höhe, bis zu welcher das Dicatopter ausgezogen werden kann, ist 10 bis 12 Zoll, da dies die Entfernung des deutlichen Sehens ist. — Der undurchbohrte Spiegel reicht von dem Durchschnittspunkte beider Spiegel $3/_4$ Zoll weit und braucht nur $1/_2$ Zoll lang zu sein, so daß er von dem Durchschnitte beider Spiegel noch $1/_4$ Zoll absteht. — Die Oeffnung des durchbohrten Spiegels ist von dem Durchschnitte beider nur wenig über $1/_2$ Zoll entfernt; er selbst hat einen Halbmesser von höchstens 0,14'', oder im Durchschnitt von $1/_8$ Zoll. — Der Theil, welcher den durchbohrten Spiegel trägt und einer Loupenfassung ähnlich ist, darf nicht über $1^1/_3$ Zoll von dem Durchschnitte beider Spiegel an vertical herabhängen.

Schiebt man zwischen Auge und Object hinter dem schiefen Spiegel eine

Loupe ein, so wird das Verhältniß der Größe des Bildes zu der des Objectes je nach der vergrößernden Kraft der Loupe abgeändert, und wenn man nun mit dem Apparate Zeichnungen bis zu einem Durchmesser von 8 bis 10 Zoll entwerfen kann, so ergiebt sich, wie man von mikroskopischen Gegenständen bequem sehr stark vergrößerte Zeichnungen in aller Treue und Schärfe wird herstellen können.

Der Erfinder, Herr v. Hagenow, ist fortwährend bemüht gewesen, den Apparat noch zu vervollkommnen. Es bestehen diese Verbesserungen nach schriftlicher Mittheilung zunächst in einer großen 4 bis $4^1/_2$″ im Durchmesser haltenden Linse, welche dergestalt an dem Stative des Dicatopters in horizontaler Lage befestigt wird, daß der Mittelpunkt der Linse genau vertical unter dem Loche des kleinen Spiegels liegt. — Der Linsenapparat kann entweder aus einem oder besser aus zwei planconvexen Gläsern bestehen, deren convexe Seiten in der Fassung einander zugekehrt liegen.

In der beistehenden Figur sieht man an der Vorderseite der Säule a, in einer Höhe von etwa 3 Zoll über der Fußplatte ein Stück Messing angelöthet: b. — In der Mitte der vorderen verticalen Ebene desselben ist eine Mutter



für die Handschraube c eingeschnitten und etwas tiefer ist ein kleiner Leitestift bei d eingelassen. Beides dient zur Aufnahme, zur verticalen Leitung und Verschiebung und zur Befestigung des gabelig gespaltenen Stückes e, welches die Fassung der Linsen f trägt. — Mittelst dieser Vorrichtung kann die Linse für jedes Auge in den passenden Focus genau eingestellt und fixirt werden. — Der runde Arm

an der Linsenfassung ist in dem Kopfe des Gabelstückes beweglich, so daß man nach halber Umdrehung der Fassung den Linsenapparat bequem in das Einlegekästchen verpacken kann.

Dieser Apparat erfüllt einen doppelten Zweck, indem er einestheils dazu dient, um unter demselben mikroskropische Zeichnungen viel sauberer ausführen zu können, und anderentheils fällt ein solches Bild in der Wirklichkeit um so viel kleiner aus, als die Linsen dasselbe beim Zeichnen vergrößern. Man kann daher, eben bei Anwendung der Linsen auf die Zeichnung mikroskopischer Gegenstände, das Instrument auf eine stärkere Vergrößerung einstellen und das Object schärfer sehen und detaillirter zeichnen, als es bei schwächerer Vergrößerung möglich ist. Ist z. B. das Stativ auf 8malige Vergrößerung eingestellt und lassen die Linsen das unter demselben entstehende Bild doppelt so groß erscheinen, als es wirklich ist, so wird das Bild in der Wirklichkeit nur in 4maliger Vergrößerung ausgeführt werden; will man nun das Bild in 8maliger Vergrößerung haben, so stellt man das Stativ auf 16 ein, wozu beide Loupen erforderlich sind, und wodurch das Object noch einmal so groß erscheint und natürlich viel genauer gesehen wird, als bei Einstellung auf eine 8malige Vergrößerung mit nur einer Loupe und ohne Anwendung der Linsen. Hieraus folgt, daß man mittelst Anwendung der Linsen selbst Bilder in schwächeren Vergrößerungen erzielen kann, als man mit der schwächsten Loupe sonst mit dem Apparate auszuführen nicht im Stande ist. Ja man kann selbst bis zur Verkleinerung damit gehen, indem man beide Loupen zurückschlägt und unter Anwendung z. B. verdoppelnder Linsen das Object mit unbewaffnetem Auge zeichnet, in welchem Falle man ein Bild in halber Größe des Objects erhält. Je nach der Schärfe der angewendeten Linsen und Loupen sind unendliche Veränderungen möglich.

Zur leichteren Einstellung des Objects hat Herr v. Hagenow ferner den Objectschieber g an der unteren Fläche mit einer Zahnstange und einem Triebe versehen, wovon man in der Figur, an der abgekehrten Seite, den für die rechte Hand bequem gelegten Triebknopf h theilweise sieht.

Der Spiegelträger k ist in seinem verticalen Stücke so abgeändert, daß er aus zwei Röhren besteht, welche federnd sich einander schieben, so daß man die Höhe der Spiegel bis fast auf das Doppelte verändern kann.

Endlich ist auch noch ein Objecthalter i hinzugekommen; derselbe besteht aus einem Drahte, der an einem Ende zugespitzt ist und am anderen eine Federpincette trägt und von einer Federklemme gehalten wird, die mit einem nach allen Seiten beweglichen Untergestelle verbunden, das eine oder andere Ende des Drahtes mit dem angehefteten Objecte in jede beliebige Lage bringen läßt. Dieser Träger-Apparat kann, je nachdem es erforderlich ist, mit seinem conischen Zapfen in irgend eines der 5 Löcher des Objectschiebers g gesteckt werden *).

Einen ebenfalls zum Zeichnen eingerichteten Loupenapparat hat Chevalier angegeben **). A und B (s. umstehende Fig. I.) sind in seinem Apparate plan-

*) Ein Dicatopter mit allen Verbesserungen und mit sauberem Mahagoni-Einlegekästchen kostet 47 Thlr., ganz einfache, aber zum vollkommen richtigen Zeichnen ausreichende kosten 4¹/₆ Thlr. Dazwischen liegen noch Sorten in Mahagoni à 15 und 17 Thlr., und in Messing à 22 Thlr.; außerdem noch 2 Sorten à 26 und 36 Thlr.

**) Bulletin de la société d'encouragement. Nov. 1822.

convexe Linsen, deren Convexitäten einander zugekehrt sind. Wir haben bereits oben gesehen, daß zwei dicht hinter einander stehende Linsen wie eine einzige von kürzerer Brennweite wirken; bringt man nun ein Object ab außerhalb der Brennweite an, so würde ein umgekehrtes vergrößertes Bild a'b' hinter B entstehen. Chevalier läßt dieses Bild nicht sofort zu Stande kommen, sondern bringt hinter B ein rechtwinkeliges, gleichschenkeliges Prisma DCE an, dessen Hypotenusenfläche DE mit Papier belegt ist; die durch CE hindurchdringenden Strahlen werden dann von DE reflectirt, so daß man oberhalb CD auf einem matten Glase den Gegenstand in a'' b'' abgebildet sehen und ohne Beschwerde nachzeichnen kann.

I.



Eine genauere Beschreibung verdient an dieser Stelle noch das von Wollaston *) angegebene Doppelmikroskop, welches sich besonders durch einen eigenen vortheilhaften Beleuchtungsapparat auszeichnet.

II.

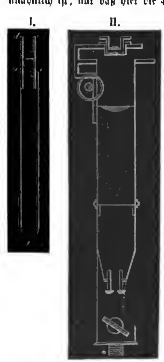


Beleuchtungsapparat: TURE (s. Fig. II.) ist eine Röhre von ungefähr 6 Zoll Länge und einem solchen Durchmesser, daß alle Reflexion des fremdartigen Lichtes von den Seiten her verhindert wird, zu welchem Ende es noch sicherer ist, das Rohr inwendig zu schwärzen. Am Ende des Rohres, oder in demselben ein wenig vom Ende, befindet sich eine planconvexe Linse ET, die eine Brennweite von ungefähr $^3/_4$ Zoll besitzt und mit ihrer flachen Seite dem Gegenstande, der betrachtet werden soll, zugewandt ist. Am Boden ist eine kreisrunde Oeffnung A von ungefähr 0,3 Zoll Durchmesser; sie ist bestimmt, das vom Spiegel R reflectirte Licht zu begrenzen, welches darauf von der Linse ET $^8/_{10}$ Zoll über derselben in deren Brennpunkte a vereinigt wird, so daß daselbst, in der Ebene des zu untersuchenden Gegenstandes, ein deutliches Bild von der Oeffnung A entsteht. Die Länge der Röhre und die Entfernung der planconvexen Linse von der Oeffnung können jedoch etwas abgeändert werden. Die hier gegebene Länge von 6 Zoll wurde für die Höhe des Auges über dem Tische am zweckmäßigsten befunden. Das Bild der Oeffnung A darf nicht mehr als 0,05 Zoll im Durchmesser halten, es sei denn, die Vergrößerungen wären schwächer als die hier beabsichtigten. Die Stärke der Beleuchtung hängt von dem Durchmesser der Beleuchtungslinse, so wie von dem Verhältniß der Oeffnung zu deren Bilde ab, und

*) Philos. Transact. f. 1829. T. I. p. 9. Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 176.

kann demgemäß nach Wunsch des Beobachters abgeändert werden. Die Linse ET oder die Oeffnung A muß eine Vorrichtung haben, vermöge welcher man den Abstand zwischen beiden verändern und das Bild der Oeffnung in die Ebene des zu untersuchenden Gegenstandes bringen kann, was vielleicht am zweckmäßigsten dadurch geschieht, daß man beide Röhren in einander schraubt.

Linsenapparat des Mikroskopes selbst: Man sieht bei M (s. vorstehende Fig. II.) einen Apparat, der zwei in einander gesteckten Fingerhüten nicht unähnlich ist, nur daß hier die Hüte cylindrisch sind, und anstatt blos in einander gesteckt zu werden, in einander eingeschraubt sind. Wo die Spitze des Fingerhutes sein würde, sind die Hütchen durchbohrt, und in diesen Oeffnungen sind die zwei planconvexen Linsen, mit den ebenen Flächen nach dem Gegenstande zugekehrt, angebracht (wie in der Figur zu sehen), welche das zusammengesetzte Mikroskop bilden und deren Brennweiten ungefähr im Verhältniß von 3 : 1 stehen. Durch Schrauben der Hütchen lassen sich diese Linsen leicht in einen solchen Abstand von einander bringen, daß sie den bestmöglichen Effect gewähren. Zur Bestimmung des Abstandes zwischen den ebenen Flächen der Linsen ist von Wollaston folgende Vorrichtung angebracht worden. Ein Metalldraht abc (s. nebensteh. Fig. I.) wird in die Form einer Zwinge gebogen, und an den Enden mit zwei kleinen Glasplatten de versehen. Zwischen diese Glasplatten wird, wie es die Figur zeigt, das innere Hütchen oder das, worin die Linie mit längerer Brennweite sitzt, eingeschoben, und dann der Abstand zwischen den äußeren Flächen der Glasplatten mit einem Tasterzirkel gemessen. Dann schraubt man das kleine Hütchen in das größere und unterwirft es gemeinschaftlich mit diesem derselben Operation.



Die Zunahme des Abstandes zwischen den beiden äußeren Flächen der Glasplatten wird dann offenbar gleich sein dem Abstande zwischen den ebenen Flächen der Linsen. Eine Unterlage zum Tragen der Gegenstände, versehen mit der nöthigen Seitenbewegung, wird zwischen dem Mikroskop und der Linse ET in a befestigt. Diese Einstellung zum deutlichen Sehen geschieht mittelst einer Vorrichtung, die an dem Träger des zusammengesetzten Mikroskopes angebracht ist. Zur Vollkommenheit dieses Mikroskopes ist erforderlich, daß die Axen der Linsen und das Centrum der Oeffnung A in einer und derselben geraden Linie liegen. Dies ist der Fall, wenn das Bild der Oeffnung in seiner ganzen Ausdehnung erleuchtet und sein Umfang überall gleich gut begrenzt ist. Des Nachts kann man sich zur Beleuchtung mit großem Vortheil einer gemeinen Ochsenaugenlaterne bedienen.

Wollaston empfiehlt folgende Anordnung des ganzen Instruments: Eine Röhre von hinreichender Länge und Weite (s. beistehende Fig. II.) bildet den

Körper des Instrumentes. Das eine Ende derselben verschließt eine Platte, versehen mit einer Schraube, mittelst welcher die Röhre auf dem Deckel des als Fußgestell dienenden Kastens zu diesem Instrumente befestiget werden kann. Oberhalb dieser Platte hat die Röhre, wie durch die punktirte Linie angedeutet ist, einen Ausschnitt, damit Licht auf den kleinen Spiegel falle, welcher an einer durch die Mitte der Röhre gehenden Horizontalaxe befestigt ist. Die Neigung dieses Spiegels kann durch einen auswendig an der Axe befindlichen Knopf beliebig verändert werden, die übrige Einstellung, senkrecht darauf, geschieht durch Drehen des Kastens dieses Mikroskopes. Ueber der Oeffnung ist in das Rohr ein konischer Einsatz eingelöthet, und in diesen wiederum ein kleines cylindrisches Rohr, welches die zuvorerwähnte Blendung trennt, eingeschraubt. Die planconvexe Linse ist in einem federnden Rohre befestigt, welches in dem größeren sich verschieben läßt. Die Lage der Linse kann demnach so verändert werden, daß dadurch das Bild der Blendung in die Ebene des zu betrachtenden Gegenstandes kommt. Ein Stück Tafelglas von zwei Quadratzoll, oder weniger, wenn man es für angemessen hält, dient am Ende des Rohres als Unterlage, und hat zwei gegen einander rechtwinkelige Seitenbewegungen. Der Einsatz, in welchem die Vergrößerungsgläser sitzen, kann durch Zahnstange und Triebrad verschoben werden, doch müssen bei dieser Einrichtung die mikroskopischen Linsen sich durchaus genau in der verlängerten Axe der Röhre bewegen. Das Rohr besteht aus zwei in einander geschobenen Stücken von gleicher Länge, wodurch, wenn sie von einander genommen sind, das ganze Instrument in einen Kasten von ungefähr 4 Quadratzoll eingepackt werden kann. Vorausgesetzt, daß die planconvexe Linse sich in gehörigem Abstande von der Unterlage befinde, kann man das Bild der Blendung leicht in die Ebene des Gegenstandes bringen. Man befestigt nämlich einen Draht, mit etwas Wachs quer über die Oeffnung derselben, beobachtet einen auf die Glasplatte der Unterlage gelegten Gegenstand mit dem Mikroskop, und ändert die Entfernung der Blendung von der Linse mittelst der Schraube an ersterer so lange ab, bis das Bild des Drahtes gleichzeitig mit dem Gegenstande auf der Glasplatte deutlich gesehen wird.

2. Zusammengesetztes Mikroskop.

Die vorzugsweise sogenannten zusammengesetzten Mikroskope — denn man könnte naturgemäß jedes aus mehr als einer Linse bestehende Mikroskop ein zusammengesetztes nennen — beruhen darauf, daß das durch ein einfaches Mikroskop erzeugte Bild nicht ohne Weiteres durch das Auge aufgefangen, sondern durch ein zweites einfaches Mikroskop betrachtet wird. Bei dem einfachen Mikroskope ist das Bild, welches die Linse erzeugt, ein mathematisches *), indem das Object innerhalb der Brennweite steht; bei dem zusammengesetzten Mikroskope hingegen erzeugt die Objectivlinse ein physisches Bild, indem das Object außerhalb der Brennweite derselben sich befindet, und dies physische Bild wird nochmals durch eine convexe Linse, wie durch ein einfaches Mikroskop oder eine Loupe betrachtet. Das Mikroskop von Chevalier (s. oben) könnte man gewissermaßen hierher rechnen, doch fehlt demselben die als einfaches Mikroskop wir-

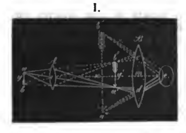
*) Vergl. Art. Linsenglas. Bd. IV. S. 558.

fende Linse. Daß jede der hierbei angewendeten Linsen durch ein System combinirter Linsen vertreten werden kann, versteht sich nach dem bei den einfachen Mikroskopen Angeführten von selbst, da hierbei ein Glas nur zur Verstärkung der Wirksamkeit des anderen dient.

a) Das dioptrische Mikroskop.

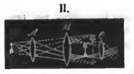
Der Gegenstand a b stehe (s. beistehende Fig. I.) außerhalb der Brennweite der convexen Linse A, so wird hierdurch ein umgekehrtes vergrößertes physisches Bild a′b′ hinter A erzeugt; dieses stehe innerhalb der Brennweite der Loupe B, so wird das Auge bei o von dem vergrößerten umgekehrten physischen Bilde a′b′ ein nochmals vergrößertes mathematisches Bild a″b″ in gleicher Stellung erblicken. Die Figur versinnlicht zugleich den Gang der Lichtstrahlen. Da, wenn die Vergrößerung bedeutend ausfallen soll, das Object a b sehr nahe an dem Brennpunkte von A stehen muß, wodurch dann a′b′ wieder sehr weit hinter A seine Stelle erhält, so hat man, um den Apparat zu verkürzen, zwischen A und den Ort des Bildes a′b′ eine Sammel- oder Collectivlinse eingeschoben *).

I.



In beistehender Fig. II. ist der Gang der Lichtstrahlen veranschaulicht, wenn ein Sammelglas — hier B — eingeschoben wird; der Abstand zwischen A und C ist kleiner geworden, und doch erreicht man dieselbe Vergrößerung zugleich mit einem vergrößerten Gesichtsfelde. Daß man auch die Ocularlinse aus zwei Gläsern zusammensetzen kann, ist schon bemerkt, nur wollen wir hier nochmals darauf hinweisen, da dann das Mikroskop aus 4 Gläsern besteht. Offenbar wird bei dem zusammengesetzten Mikroskope eine bei weitem stärkere Vergrößerung, als bei dem einfachen erlangt werden können, aber es wird auch die Deutlichkeit und Klarheit des Bildes verringert, dem nur durch eine sehr genaue und sorgfältige Einrichtung des Instrumentes abgeholfen werden kann, worin die Künstler neuester Zeit allerdings das Ueberraschendste leisten. Auf die vorzüglichsten Mittel, um dies zu erreichen, werden wir im Laufe dieses Artikels aufmerksam machen; hier bemerken wir nur vorweg, daß besondere Vortheile die achromatischen Linsen gewähren, wegen deren Art. Linsenglas Bd. IV. S. 571 bis 577 zu vergleichen ist, woselbst auch über Kellner's orthoskopisches Ocular die nöthigen Nachweise sich finden.

II.



Was die Ermittelung der vergrößernden Kraft betrifft, das werden wir weiter unten näher ausführen. Hier möge nur theoretisch die Bestimmung der Vergrößerung eine Stelle finden bei einem zusammengesetzten Mikroskope, welches nur aus einer Objectivlinse von der Brennweite f_1 und einer Ocularlinse von der Brennweite f_2 besteht. Nehmen wir an, daß das Object in einer Entfernung $= e$ außerhalb der Brennweite der Objectivlinse sich befindet und daß d die

*) Vergl. Art. Linsenglas. Bd. IV. S. 560.

Entfernung des deutlichen Sehens bedeutet, so ergiebt sich aus $\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{f}$, da $a = f_1 + e$ und $f = f_1$ ist, $\alpha = \frac{(f_1 + e) f_1}{e}$. Dies Bild steht innerhalb der Brennweite der Ocularlinse nahe am Brennpunkte, oder die Ocularlinse wirkt auf dies Bild als Loupe. Da nun die Vergrößerung durch die Objectivlinse $= \frac{\alpha}{a} = \frac{f_1}{e}$ ist, und, wie wir oben bei den Loupen gesehen haben, die Vergrößerung durch die Ocularlinse $= \frac{d}{f_2} + 1$, so ergiebt sich die gesammte Vergrößerung $= \frac{f_1}{e} \cdot \frac{d + f_2}{f_2}$; oder, mit Vernachlässigung von 1, $= \frac{f_1}{e} \cdot \frac{d}{f_2}$. Hieraus sehen wir zugleich, daß $e < f_1$ sein muß, wenn die Objectivlinse zur Vergrößerung beitragen soll; denn ist $e = f_1$, so ist $\frac{f_1}{e} = 1$ und das Bild an Größe dem Objecte gleich; ist $e > f_1$, so ist $\frac{f_1}{e} < 1$ und das Bild sogar kleiner als das Object; wäre endlich e negativ, d. h. stände das Object innerhalb der Brennweite der Objectivlinse, so würde das Bild kein physisches und das zusammengesetzte Mikroskop wäre ganz unbrauchbar.

Ein gewöhnliches Mikroskop nach seiner äußerlichen Form stellt sammt seinem Gestelle beistehende Figur vor. In der inwendig geschwärzten Röhre R befindet sich bei l das Objectiv, bei l' das Ocular und am unteren Ende des oberen Auszuges das Sammelglas. Die Objecte werden auf oder zwischen Glas auf das durchbrochene Tischchen o gelegt, welches mittelst einer Schraube dem Objective so lange genähert wird, bis das Auge über l' das Bild des Objectes möglichst deutlich erblickt. Der kleine Hohlspiegel s läßt sich horizontal und vertical um eine Axe drehen, und muß so gestellt werden, daß er das auf ihn fallende Licht gegen das Object wirft. Die Entfernung des Objectes von dem Objectivglase muß, wie schon bemerkt, etwas größer sein, als die Brennweite dieses Glases.



Bei einem guten Mikroskope ist zu achten: auf die Gläser, auf das Gestell, auf den Tisch und auf den Beleuchtungsapparat.

Die Gläser müssen scharfe und klare Bilder geben. Dies hängt namentlich ab von dem Objectivglase, welches deshalb mit der größten Sorgfalt gearbeitet sein muß, namentlich keinen farbigen Saum geben darf. Das Ocularglas vergrößert nun nochmals, also auch die Fehler des Objectivglases; weshalb man lieber starke Objectivgläser und schwache Oculargläser nimmt. In der Regel gehören zu einem solchen Mikroskope mehrere Objectivlinsen mit verschiedenen Brennweiten, und auch mehrere Oculare. Bei den größten Gattungen befinden sich sechs Objective und zwei oder gar drei Doppeloculare. Erstere lassen sich meistens

am gehörigen Orte aufschrauben, manchmal sind sie aber in einer Scheibe befestigt, die sich um eine mit der Axe des Instrumentes parallele Axe bewegen läßt, so daß man blos durch Drehen dieser Scheibe das Objectiv wechseln kann, eine Einrichtung, welche zwar beim Gebrauche sehr bequem ist, aber in der Ausführung große Vorsicht und Genauigkeit erfordert, indem der geringste Fehler in der Lage der Drehungsaxe schon einen merklichen Centrirungsfehler im Instrumente erzeugt. Die Linsen sind gewöhnlich numerirt, und zwar die schärfste mit der höchsten Nummer; man erkennt aber den Grad der Schärfe überdies aus ihren Oeffnungen, indem diese in dem Maße kleiner werden, wie die Vergrößerungsvermögen zunehmen. Bei den neueren Mikroskopen werden zwei oder drei Objective zugleich aufgeschraubt, so daß sie sich fast berühren; dabei ist es aber nicht gleichgültig, welche Linsen man combinirt, und der Künstler muß angeben, welche der vorhandenen sich verbinden lassen. Es sind dies die aplanatischen Linsen. Da beim Gebrauche verschiedener Objective das Object auch eine verschiedene Entfernung vom Objectivglase haben muß, so ist es nöthig, daß entweder der Tisch, welcher zum Objectivträger bestimmt ist, oder die Röhre mit den Gläsern beweglich ist. Das Letztere verdient den Vorzug und geschieht zunächst durch die sogenannte grobe Einstellung mittelst einer gezahnten Stange und eines Getriebes oder durch Verschiebung des Rohres in einer Hülse. Das Verschieben erfordert Gewandtheit, namentlich beim genauen Einstellen. Deshalb bringt man außer der groben Einstellung zu der feineren in der Regel noch eine Mikrometerschraube an. In neuerer Zeit bewirkt man auch oft die feinere Einstellung durch eine klappenartige Bewegung des Tisches, indem sich die Stellung desselben zur Säule des Stativs mittelst einer Schraube im Winkel von etwa 88° bis 92° verändern läßt. Es hat sich diese Einrichtung in der Praxis sehr bewährt.

Das Gestell oder Stativ eines Mikroskops soll dem Instrumente die nöthige Festigkeit gewähren und ihm doch auch die nöthigen Bewegungen gestatten. Manches Instrument läßt sich sowohl in die verticale als in die horizontale Lage bringen; an einigen kann man den Körper desselben längs des ganzen Tischchens verschieben und so sehr schnell von einem Objecte zu einem anderen, oder von einem Theile desselben zu einem anderen übergehen. Manche Beobachter wollen die Objectivlinse eines zusammengesetzten Mikroskops auch für sich als einfaches Mikroskop benutzen; darum läßt sich an einigen Instrumenten das Objectiv eigens an das Stativ anschrauben und über dies dann die Röhre mit dem Reste der Gläser so anbringen, daß man letztere wegnehmen kann und nur erstere übrig bleibt. Indessen so gut dies in mancher Hinsicht sein mag, so kann man sich doch nicht verhehlen, daß bei so vielfachen Bewegungen der einzelnen Theile gegen einander die Centrirung stets etwas leiden muß. — Wesentlich ist, daß die Höhe des Stativs das Arbeiten an demselben im Sitzen gestattet.

Die Einrichtung des Tisches ist für ein brauchbar sein sollendes Mikroskop von großem Belange. Er muß ein Glasmikrometer, ferner einen Aufsatz mit einem Planglase aufnehmen können, auf welchem man kleine Tropfen von Flüssigkeiten anbringt, die man durch das Mikroskop betrachten will, dann einen größeren aus zwei Hohlgläsern bestehenden, zwischen welchen man kleine lebende Thiere einsperrt und in das Gesichtsfeld des Instrumentes bringt; ferner muß er mit einer Klemme versehen sein, in welche die Objectträger geschoben und daselbst fest gehalten werden können; endlich muß sich noch ein Zängelchen anstecken lassen, in

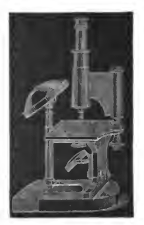
welches man kleine Objecte einzwängt. — An einigen größeren Mikroskopen besteht der Tisch aus zwei über einander befindlichen durchbohrten Platten, von denen die untere fest ist, die obere aber nach zwei Richtungen, die mit einander einen rechten Winkel bilden, mittelst Schrauben bewegt werden kann. Auf dieser Platte befindet sich dann noch ein gabelförmiges Stück, welches durch eine Spiralfeder an die Platte angedrückt wird, aber durch einen Druck mit dem Finger leicht gehoben werden kann und die Klemme abgiebt, welche den Objectträger festhält. Schacht spricht sich gegen diese Einrichtung aus. An den neuen Instrumenten von Oberhäuser rühmt hingegen derselbe besonders, daß der sonst durchaus unbewegliche Tisch sammt dem Mikroskoprohre um die Axe vertical drehbar ist, weil dies sowohl bei schief durchfallendem, als auch bei auffallendem Lichte sehr wichtig wird.

Der Beleuchtungsapparat ist ein ganz besonders wichtiger Theil. Für durchsichtige Objecte wendet man einen Plan- oder Hohlspiegel an, der sich unter dem Tische befindet, für undurchsichtige hingegen eine Sammellinse. Hat der unter dem Tische befindliche Spiegel auf einer Seite einen Planspiegel, auf der anderen einen Hohlspiegel, so bedient man sich des ersteren für schwache Vergrößerungen. Amici bringt nur einen Planspiegel an, aber über demselben eine Sammellinse, die sich sowohl in der Höhe wie seitlich verschieben läßt, so daß er den Spiegel allein benutzen kann, aber auch im Verein mit der Sammellinse, wodurch er die Wirkung des Hohlspiegels erzielt. Da überdies durch das Auf- und Abwärtsschieben der Sammellinse der Brennpunkt derselben in eine andere Lage gebracht werden kann, so hat man die Intensität des Lichtes in seiner Gewalt *). Das Letztere erreicht Oberhäuser durch Auf- und Abwärtsschieben seines Hohlspiegels. Wichtig ist es, das Licht schief auffallen lassen zu können, indem dadurch Sachen sichtbar werden, die man sonst gar nicht zu erkennen vermag. Hierzu ist die oben angegebene Drehung des Tisches um sich selbst, wie es Oberhäuser ausgeführt hat, ganz besonders praktisch. Nachez hat dasselbe durch sein Prisme oblique zu erreichen gesucht, welches er zwischen Spiegel und Objecttisch, um seine Axe drehbar, anbrachte. Eine ähnliche Wirkung hat die Sammellinse Robert's, welche an der unteren Seite plan, an der oberen hingegen am Rande convex und in der Mitte concav geschliffen ist. Daß sich hier die Lichtstrahlen auf dem Gegenstande kreuzen, ist sogar noch ein Vortheil, indem es auf die Lage des Gegenstandes gar nicht ankommt. — Die Beleuchtungslinse für undurchsichtige Gegenstände ist in der Regel zu klein, weshalb Oberhäuser seinen großen Mikroskopen eine größere Sammellinse beigiebt, die auf einem besonderen, schweren Stative nach verschiedenen Richtungen drehbar ist. Da sich das Oberhäuser'sche Mikroskop besonders auszeichnet, so geben wir zu seiner Veranschaulichung noch besonders in umstehender Figur eine Abbildung desselben. — Den Lieberkühn'schen Spiegel, der auf die Objectivfassung aufgesteckt werden konnte, und das vom unteren Spiegel neben dem Objecte vorbeigehende Licht wieder auf dasselbe zurückwarf und es so beleuchtete, wendet man heutzutage gar nicht mehr an.

Zu dem Beleuchtungsapparate gehören noch als wesentlicher Theil die Blen-

*) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XII. p. 117. Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 476, woselbst auch eine Abbildung des Instruments sich findet.

dungen, Oeffnungen in geschwärzten Scheiben oder Röhren. Drehbare Scheibenblendungen unterhalb des Gegenstandes in einer Entfernung bis zu einem Zolle sind unzweckmäßig; besser wirken einfache, in der Mitte durchbohrte Platten unmittelbar unter der Objectplatte; am vortheilhaftesten erweisen sich die Cylinderblendungen, die überdies verschiebbar sein müssen, um sie der Objectplatte nähern oder von ihr entfernen zu können. Hat man keine Blendungen, so muß man durch Beschattung mittelst der Hand sich zu helfen suchen.



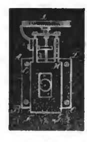
Beim Gebrauche eines Mikroskops hat man die Absicht, entweder von einem kleinen Objecte nur ein vergrößertes, deutliches und klares Bild zu erhalten, oder zugleich auch die, die Größe des Gegenstandes zu bestimmen. — Zur Erreichung der ersten Absicht wird blos erfordert, den Gegenstand, um dessen Betrachtung es sich handelt, gehörig zubereitet in die passende Lage und Entfernung von der Objectivlinse zu bringen und ihm den besten Grad der Beleuchtung zu ertheilen. Ueber die Zubereitung des Objectes zu mikroskopischen Betrachtungen lassen sich keine allgemeinen Regeln aufstellen, da diese mit der Natur der Objecte zu sehr wechselt; nur ist zu bemerken, daß darauf ungemein viel ankommt, und daß mancher auch mit dem besten Mikroskope das nicht sieht, was der andere mit einem minder guten wahrnimmt, weil er das Object nicht zweckmäßig zu mikroskopischen Betrachtungen zuzurichten versteht. Diese Objecte werden meistens auf oder zwischen zwei Glasplatten gelegt; letzteres thut man aber nur, wenn man dieselben längere Zeit hindurch aufbewahren oder als Probeobject erhalten will; man läuft aber immer Gefahr, wegen kleiner Unreinigkeiten des Glases eine mindere Klarheit und wegen einer ungleichen Glasdicke eine geringere Deutlichkeit zu erhalten. Letzteres tritt besonders leicht ein, wenn das Glas aus einer Glaskugel geschnitten ist, wie es häufig zu geschehen pflegt; ebene Glasplatten, z. B. aus dünnen Spiegeln geschnittene, sind diesem Fehler seltener unterworfen. Bei sehr starken Vergrößerungen ist es unerläßlich, das Object unmittelbar auf ein Glas zu legen, weil die Dicke eines Glasdeckels oft nicht mehr erlaubt, den Gegenstand der Objectivlinse hinreichend zu nähern. Dieses ist besonders bei den aplanatischen Mikroskopen der Fall. — Beim Einlegen des Objectes auf den Tisch des Mikroskopes muß es in die Axe des Instrumentes gestellt werden. Bei schwachen Vergrößerungen, wo das Gesichtsfeld hinreichend groß ist, hat dieses nie eine Schwierigkeit, bei starken Vergrößerungen hingegen wird einiger Tact erfordert, ja es ist manchmal sogar nothwendig, zuerst ein schwaches Objectiv aufzuschrauben und das Object für dieses in die Axe zu stellen, hierauf ersteres durch das schärfere zu ersetzen, in dessen Axe sich dann der Gegenstand ebenfalls befinden wird, wenn man ihn während des Wechselns nicht verrückt hat. Ein mit Rectificirungsschrauben versehener Tisch leistet hierbei besonders gute Dienste, weil man damit Objecte in jeder Richtung sanft und leicht bewegen kann. — Beim Einstellen des Mikroskops soll man sachte verfahren und besonders bei starken Vergrößerungen wohl darauf sehen, daß man den Objectträger nicht an die Objectivlinse andrücke

und beschädige. Je stärker die Vergrößerung ist, deren man sich bedient, desto sanfter muß die letzte Bewegung vorgenommen werden, wenn man nicht die Grenze der größten Deutlichkeit übersehen will. Da bringt schon die kleinste Abweichung von der rechten Stellung einen großen Unterschied in der Deutlichkeit hervor. Auch ist es unumgänglich nothwendig, daß sich jeder Beobachter das Object seinem Auge gemäß einstelle, denn die kleinste Differenz in der Sehweite wird bei scharfen Linsen schon sehr merklich. Auch ist klar, daß man da nur jene Stellen des Objectes deutlich sehen kann, welche gleiche Entfernung vom Objectiv haben. Will man das Object weiter rücken, um eine andere Stelle desselben zu sehen, so wird darum, falls diese eine andere Entfernung vom Glase hat, ein neues Einstellen nothwendig werden. Beim Gebrauche flüssiger Objecte muß darum auch der Tisch eine horizontale Lage haben. — Ein wesentliches Erforderniß zum Gelingen mikroskopischer Beobachtungen ist die gehörige Beleuchtung des Objectes. Directes Sonnenlicht soll nie zur Beleuchtung gebraucht werden. Dieses Licht beleidigt das Auge, stört die Klarheit des Sehens und bewirkt am Objecte durch die Erhitzung eine naturwidrige Verzerrung. Eben so soll man das von dunkeln oder grellfarbigen Gegenständen reflectirte Licht meiden. Bei Tage gewährt das Licht weißer Wolken oder einer mäßig weißen, nicht direct von der Sonne beschienenen Mauer die beste Beleuchtung. Nachts leistet eine Wachskerze, eine Lampe mit Banddocht und einer gläsernen Zugröhre oder eine argandische, mit einer matten Glaskugel bedeckte Lampe die besten Dienste. Stellt man ein Mikroskop in die Nähe eines Fensters, so sind oft die dunkelen Fensterkreuze der gehörigen Beleuchtung stark im Wege. Auf das Ocular soll kein grelles Licht fallen, sonst ist es nöthig, einen Schirm daselbst anzubringen. Einen solchen kann selbst die Hand des Beobachters abgeben. — Bei der Beleuchtung von unten durch den Spiegel läßt sich das Licht schon durch die rechte Stellung des Spiegels mäßigen und verstärken, dasselbe gilt auch bei der Beleuchtung mittelst einer Linse von oben. Es ist sehr wesentlich, daß man dem Beleuchtungsapparate die gehörige Stellung zu geben weiß, weil von dieser die Nettigkeit und Reinheit des Bildes so sehr abhängt. Manche Gegenstände, z. B. die Theilstriche eines Glasmikrometers, sieht man bei nur etwas starker Beleuchtung gar nicht, andere nur unvollkommen, wieder andere fordern hingegen ein starkes Licht. Bei der Anwendung der oberen Beleuchtung darf kein Licht vom Spiegel auf das Object fallen. Man erreicht dieses, wenn man den Spiegel so stellt, daß seine Axe in die des Rohres fällt. — Wer einen Gegenstand durch mikroskopische Betrachtung desselben näher kennen lernen will, besehe denselben zuerst mit kleinen Vergrößerungen, um davon größere Partien übersehen zu können, und schreite erst stufenweise zu den stärksten Vergrößerungen fort, die er verträgt. Man gebe während der Betrachtung bei derselben Vergrößerung dem Beleuchtungsapparate verschiedene Neigungen gegen die Axe des Rohres, um so bei mehreren Abstufungen der Beleuchtung Beobachtungen anzustellen, wehre durch die Hand oder durch einen Schirm alles Licht ab, welches seitwärts unabhängig vom Beleuchtungsapparate auf das Object fällt, und vergesse nicht jeden Gegenstand, der eine untere Beleuchtung gestattet, auch einmal von oben zu beleuchten, und das untere Licht zu unterdrücken. Man lernt den Charakter eines Objectes nie vollständig kennen, wenn man es nur im durchgelassenen oder nur im reflectirten Lichte sieht. — Die beste Anleitung über den Gebrauch des Mikroskops, insbesondere für Pflanzen-Anatomie hat Schacht

(a. a. O.) geliefert, auf die wir deshalb jeden verweisen, welcher mit den Mikroskopen recht vertraut werden will.

In vielen Fällen wünscht man die Größe eines mikroskopischen Objectes zu ermitteln. Dies kann auf zweifache Weise geschehen, nämlich mittelst eines Glasmikrometers oder mittelst eines Schraubenmikrometers. — Im ersteren Falle legt man das Mikrometer, welches eine feine Eintheilung enthält, so daß die Länge einer Linie aus 10 oder 100 gleichen Theilen besteht, auf den Tisch des Instrumentes mit der Fläche, auf welcher die Scala verzeichnet ist, nach dem Objective hingewendet, legt das zu messende Object darauf und sieht, wie viele Felder, Bruchtheile eines Feldes mit eingerechnet, von demselben bedeckt werden. Kennt man die Größe eines Feldes, so ist dadurch und durch die vorhergehende Beobachtung auch die des Objectes leicht gefunden. Doch darf man nicht vergessen, daß solche Messungen nur bei mäßigen Vergrößerungen vorgenommen werden können, da bei starken die Differenz im Abstande des Objectes und des Mikrometers vom Objective zu groß ist, als daß man beide zugleich scharf sehen könnte.

Die Messung mittelst eines Schraubenmikrometers wird am anschaulichsten durch die Beschreibung eines bestimmten Apparates, worauf wir um so mehr eingehen müssen, als im Art. Mikrometer auf den vorliegenden Artikel hingewiesen ist. Es besteht ein solches Schraubenmikrometer aus einer metallenen Scheibe A B C D (s. beistehende Figur), welche auf den Tisch des Mikroskops fest aufgeschraubt wird; auf der Scheibe ist ein Schlitten E F G H, welcher durch die Mikrometerschraube K L verschoben werden kann, und der große Schraubenkopf L ist an seinem Umfange in 100 gleiche Theile getheilt, von denen man gewöhnlich durch einen Nonius noch $^1/_{10}$ genau messen kann. Die Bewegung des Schlittens beträgt mithin für ein Hundertstel des Schraubenkopfes, wenn 100 Umdrehungen der Schraube auf 1 Par. Zoll gehen, 0,0001 Par. Zoll. Vorausgesetzt ist nun, daß das Ocular des Mikroskops ein Fadenkreuz enthält. Bringt man das zu messende Object auf die Oeffnung des Schlittens, der jetzt als Objectträger dient, stellt das Instrument so ein, daß das Bild im Gesichtsfelde deutlich erscheint und das Object einen Faden des Fadenkreuzes berührt, welcher senkrecht zur Bewegung des Schlittens gestellt ist, so verschiebt man mittelst der Mikrometerschraube das Object, bis der entgegengesetzte Rand desselben wieder den Faden berührt. Der Werth der Verschiebung wird an der Theilung des Mikrometerkopfes abgelesen, und giebt die gemessene Dimension. — An einem Fraunhofer'schen Mikroskope, welches das Wiener Museum besitzt, beträgt die Weite eines Schraubenganges 0,00142 Wiener Linien, an einem großen Schiek'schen Instrumente, welches mir zu Diensten steht, 0,001 Par. Linien.



Für große Bewegungen, die mehrere Schraubengänge umfassen, bringt man zweckmäßig noch eine Längenscala an, welche die Schraubenumgänge zählt. Soll die Messung richtig sein, so muß man den Rand des Objects in genaueste Berührung mit dem Faden setzen, die zu bestimmende Dimension muß genau auf diesem Faden senkrecht stehen und in einer auf der Axe des Instrumentes senkrechten Ebene liegen. Die erste Berührung stellt man mit der Mikrometerschraube

selbst her. Ob das Object schon in der rechten Lage sich befindet, erkennt man leicht, wenn man es zugleich nahe an den zweiten Faden des rechtwinkeligen Fadenkreuzes bringt und darauf achtet, ob es beim Fortschieben mittelst der Mikrometerschraube immer gleichweit von demselben bleibt; auch braucht man nur eine Stelle des Objectes zu beobachten, welche auf dem Faden liegt, in dessen Richtung die Bewegung des Schlittens erfolgen soll, weil diese bei richtiger Einstellung immer auf diesem Faden bleiben muß. Es ist zweckmäßig, die Messung mehrmals und mit verschiedenen Stellen zu wiederholen, um Ungenauigkeiten, welche die Schraube haben könnte, zu compensiren, indem man das Mittel aus allen Messungen nimmt.

Um solche Objecte zu messen, die im Mikroskope an den Grenze seiner optischen Kraft eben noch getrennt erscheinen, hat Harting *) eine Methode vorgeschlagen. Das Wesentliche besteht darin, daß er Gegenstände von noch meßbaren Dimensionen verkleinert und diese unter das Mikroskop bringt. Die Nobert'schen Prüfungsscheiben verdienen in solchen Fällen aber jedenfalls den Vorzug.

Die Prüfung eines Mikroskops bezieht sich auf die Untersuchung der Klarheit und auf die Stärke der vergrößernden Kraft. Die letztere zu bestimmen, kann man sich einer Camera lucida (s. d. Art. Bd. I. S. 929) bedienen, welche in einem einfachen parallelen Glase PP' (s. beistehende Figur) besteht. Dieser Apparat wird an das Ocular mittelst des Ringes NN' angebracht; man bringt das Auge nach H und betrachtet durch das Glas PP' in einer bestimmten Entfernung einen sehr genau getheilten Maßstab. Während man die Theilstriche des Maßstabes beobachtet, erblickt man auch durch Reflexion auf der ersten Oberfläche des Glases PP' das Bild des Gegenstandes, welcher unter das Mikroskop gebracht worden. Ist nun der Gegenstand selbst genau getheilt, ist er z. B. ein kleiner Glasstreifen (Mikrometer), auf welchen mittelst eines Diamants Fünftel, Zehntel oder Hundertel des Millimeters eingerissen sind, so sieht man mit einem Blicke, ein wie großer Theil des Maßstabes durch eine der Abtheilungen des Mikrometers eingenommen wird. Wenn z. B. $^1/_{10}$ Millimeter des Mikrometers 10 Millimeter des Maßstabes einnehmen, so ist die Vergrößerung 100 u. s. f. Es erfordert diese Methode indessen einige Uebung und gewährt selbst in den Händen des genauesten Beobachters keine volle Schärfe.



Zuverlässiger ist folgende Methode von v. Jacquin **). Man stelle das Mikroskop auf eine Basis, an deren Seite sich ein verticales Brett mit einer Linienscala erhebt, und zwar in einer solchen Entfernung vom Mikroskope, die der deutlichen Sehweite vom Oculare aus gleich gesetzt werden kann, befestige dann über dem Oculare einen kleinen metallenen Planspiegel, mit der in umstehender Figur besonders abgebildeten Vorrichtung, so daß seine spiegelnde Fläche um 45° gegen die Axe des Rohres geneigt und von der Wand, worauf die Scala sich befindet, gerade abgewendet ist. Hierauf lege man ein Glasmikrometer als Object

*) Sittiman, Americ. Journ. [2] Vol. XVII. p. 146.

**) Wiener Zeitschr. Bd. IV. S. 5.

ein, gebe ihm die rechte Entfernung vom Objective, um im Gesichtsfelde ein deutliches Bild zu erhalten, und suche den Spiegel so zu stellen, daß man dieses Bild auf die Scala der verticalen Wand projicirt sieht. Hier wird man leicht angeben können, wie viele Linien ein bekanntes Stück des Mikrometers deckt und wie groß daher die Vergrößerungszahl ist. — Bei dieser Operation wird erfordert, daß die Scala hinreichend deutlich gezeichnet und gehörig beleuchtet sei. Es ist sehr gut, wenn die Zeichnung weiß auf schwarzem Grunde ist und man die Untersuchung Nachts anstellt, wo man mittelst einer Lampe leicht die rechte Beleuchtung trifft. Ferner müssen die Theilstriche des Mikrometers so liegen, daß sie bei der Projection mit den Strichen der Scala parallel werden, und man muß dafür sorgen, daß die Scala dem Oculare gerade gegenüber in derselben Horizontalebene steht. Man soll dabei immer nur die Größe des Bildes in der Nähe der Axe der Röhre zum Vergleichungspunkte nehmen, nicht aber die des dem Rande nahen, weil da ein anderes Vergrößerungsverhältniß herrschen kann, als in der Mitte des Gesichtsfeldes. Messungen, auf solche Weise vorgenommen, haben eine desto größere Schärfe, je geringer die vergrößernde Wirkung des Mikroskopes ist, bei starken Vergrößerungen erscheinen theils die Theilstriche des Mikrometers so dick, daß bei der Bestimmung ihrer Lage stets eine kleine Unsicherheit zurückbleibt, theils ist man gezwungen, Bruchtheile des Abstandes zweier Theilstriche zu schätzen, eine Arbeit, die fast nie fehlerfrei abläuft, indem man wegen zu geringen Gesichtsfeldes selbst bei ungemein fein getheilten Mikrometern kaum mehr als Ein Intervall auf einmal zu sehen bekommt. Man kann diese Methode zwar durch alle Combinationen der Objective und Oculare eines zusammengesetzten Mikroskops durchführen, wird aber bei den letzten starken Vergrößerungen nur mit großer Mühe und nicht ohne Anstrengung der Augen zum Ziele gelangen. Man kann sich aber das Geschäft bedeutend erleichtern, indem man so verfährt. Man suche nach der vorhergehenden Methode die Vergrößerungszahlen bei Anwendung jedes Ocularaufsatzes mit einem der schwächeren Objective. Hierauf lege man ein Mikrometer als Object ein, dessen Scala schon bei der kleinsten Vergrößerung das ganze Gesichtsfeld ausfüllt. Steht einem kein solches Mikrometer zu Gebote, so lege man in das Diaphragma einen Schirm mit einer Oeffnung von so geringer Größe, daß sie vom Bilde der Mikrometerscala ganz eingenommen wird. Nun beobachte man mit allen Combinationen der Oculare und Objective die Anzahl der Intervalle des Mikrometers, die auf einmal übersehen werden. Da verhält sich nun die Vergrößerungszahl m bei einer bestimmten Verbindung eines Oculares mit einem Objective, zur Zahl m_1 bei einer anderen Verbindung, wie die Anzahl Intervalle n_1 des in letztem Falle auf einmal übersehenen Mikrometerstückes zur Anzahl dieser Intervalle n im ersten Falle, oder man hat:



$$m : m_1 = n_1 : n \text{ oder } m_1 = m \cdot \frac{n}{n_1}.$$

Da nun n und n_1 durch Beobachtung gegeben sind, und m aus der Bestimmung

mittelst der vorhergehenden Methode bekannt ist, so läßt sich m_1 leicht berechnen. Dieses Verfahren hat zuerst Ettingshausen *) empfohlen.

Zu allen diesen Methoden braucht man Glasmikrometer, von deren richtigen Theilung man vor ihrer Anwendung überzeugt sein muß. F. A. Nobert hat diese in größter Vollkommenheit angefertigt **) und auf Glas zehn verschiedene Gruppen feiner Linien gezogen von

0,'''001000	0,'''000463
0,000857	0,000397
0,000735	0,000340
0,000630	0,000292
0,000540	0,000225

Entfernung der einzelnen Linien jeder Gruppe, die zugleich insofern zur Prüfung der Mikroskope dienen, als ein solches Instrument natürlich höher im Werthe steht, eine je feinere Gruppe es noch getrennt zeigt. Besitzt man ein Mikroskop mit einem Schraubenmikrometer, so kann man das Mikrometer leicht auf seine richtige Theilung untersuchen, indem man dasselbe als Object einsetzt und den Abstand je zweier Theilstriche mit Aufmerksamkeit und wiederholt mißt. Auch kann man zum Ziele gelangen, wenn man die Oeffnung des Diaphragma eines Mikroskops hinreichend verengt, das Mikrometer als Object einsetzt, und, indem man verschiedene Theile desselben durch das Gesichtsfeld führt, beobachtet, ob immer gleich viele Längenstücke des Mikrometers auf einmal gesehen werden.

Die Klarheit oder Helligkeit der Bilder läßt sich bei einer gewöhnlichen Beleuchtung aus der Lichtfülle abnehmen, unter welcher der Gegenstand erscheint. Ein in dieser Beziehung tadelloses Instrument giebt selbst bei Vergrößerungen, die auf 300 reichen, mittelst einer einfachen Kerzenflamme oder bei gewöhnlichem Tageslichte ein hinreichend helles Bild, wenn dieses überhaupt eine Beleuchtung von unten verträgt; Mikroskope, welche directes Sonnenlicht fordern, oder das Licht einer unbedeckten argandischen Lampe ohne zu blenden vertragen, gehören nicht zu den ausgezeichneten. — Die Deutlichkeit eines Bildes wird aus der bestimmten Begrenzung desselben und dem bestimmten Hervortreten einzelner Theile erkannt. Wo diese Eigenschaft in hohem Grade vorhanden ist, wird man ein Object, welches das ganze Gesichtsfeld einnimmt, in allen Theilen desselben, selbst am Rande deutlich sehen, und schon bei mäßigen Vergrößerungen manches wahrnehmen, was bei einer geringeren Deutlichkeit kaum bei der größten wahrgenommen wird. Hat man einmal einen etwas delicaten Gegenstand mit einem sehr guten Mikroskope angesehen und sich das Bild wohl eingeprägt, so wird man die Güte eines anderen Instrumentes am besten mit demselben Objecte beurtheilen können. Solche Objecte sind: ein in Oel getödteter Floh, die Flügel der gemeinen Hausfliege oder der Gelse, Haare vom Rücken einer Haus- oder Feldmaus, eines Maulwurfes, vom Bauche einer Fledermaus, Schuppen von einem Flügel des gemeinen weißen Schmetterlinges, des Papilio Menelaus, der Kleidermotte. Am zuverlässigsten sind indessen die oben angegebenen Nobert'schen Prüfungsscheiben, indem bei den eben angegebenen Objecten doch kleine Differenzen vorkommen.

---

*) Wiener Zeitschr. V. S. 316.

**) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 173.

Schacht empfiehlt die Schuppen des Weibchens der Hipparchia Janira und die von Lepisma saccharina, als das beste Prüfungsobject erklärt er aber die Navicula Hippocampos angulata. An den Robert'schen Prüfungsscheiben hat er auszusetzen, daß ein Exemplar nicht absolut wie das andere ausfällt.

Dadurch, daß man das Licht schräg auf das Object fallen läßt, hat man in neuerer Zeit bei den Mikroskopen bedeutende Vortheile erzielt. Wir heben dies nochmals hervor, und knüpfen daran noch die Bemerkung, daß man sich vor dem Irrthum, in welchen der Laie nur zu leicht verfällt, bewahren muß, als ob man mit starken Vergrößerungen in allen Fällen mehr sehen könne, als mit schwachen. Dies ist namentlich deshalb nicht der Fall, weil mit zunehmender Vergrößerung die Helligkeit abnimmt.

Wegen Untersuchung der Linsen verweisen wir auf Art. Linsenglas Bd. IV. S. 563 ff.

Was die Erfindung der Mikroskope betrifft, so sind die einfachen wahrscheinlich schon so lange im Gebrauche gewesen, wie die Linsen überhaupt, denn man sich zur Vergrößerung der Gegenstände bedient, namentlich die großen Gläser, die weitsichtige Personen zum Lesen gebrauchen. Die Gemmenschneider des Alterthums müssen sich schon der Glaskugeln als Vergrößerungsmittel bedient haben. Es lag sehr nahe, Linsen mit noch größerer Convexität zu brauchen, um kleinen Gegenstände zu betrachten. Hiernach würden wir, bis auf Alexander de Sina, der 1313 zu Pisa starb, zurückgehen können *). Indessen ist der Name Mikroskop wahrscheinlich diesen Linsen — nach Einigen von dem Italiener Demisiano — erst nach Erfindung der zusammengesetzten Mikroskope gegeben worden, und das Wort Mikroskop selbst erst nach Erfindung des Teleskops in Gebrauch gekommen, indem dadurch der Gegensatz zwischen diesen beiden Instrumenten bezeichnet wird, den man allerdings schärfer durch Engioskop hervorheben würde. Huyghens **) hält es für wahrscheinlich, daß nicht allein die zusammengesetzten Mikroskope, sondern auch die einfachen erst nach der Erfindung der Teleskope in Gebrauch gekommen seien. Die einfachen seien bald nach den Fernröhren, die zusammengesetzten ungefähr zehn Jahre später erfunden worden, weil Hieronymus Sirturus ***) ein so wichtiges Instrument gewiß nicht mit Stillschweigen übergangen haben würde, wenn er es schon damals gekannt hätte. Huyghens ist geneigt, den Cornelius Drebbel für den Erfinder der zusammengesetzten Mikroskope zu halten, weil Viele ihm erzählt hätten, daß Drebbel schon im Jahre 1621 ein Mikroskop in London gehabt, und daß man ihn damals allgemein für den Verfertiger desselben angesehen habe. Franziskus Fontana behaupte zwar, jene Erfindung schon 1618 gemacht zu haben ****), doch sei das Zeugniß des Hieronymus Sirsalis, welches er anführt, nicht älter, als vom Jahre 1625. Indessen geht aus einem Briefe des holländischen Gesandten Borelius an Borellus *****) hervor, daß Drebbel das Mikroskop selbst erst von dem österreichischen Erzherzoge Albert zum Ge-

*) Vergl. Art. Brillen. Bd. I. S. 912.

**) Opera reliqua. Amstelodami 1728. T. II. dioptr. p. 170.

***) Telescopium. Francof. 1618.

****) Novae coelestium terrestriumque rerum observationes. Neap. 1646.

*****) Borellus de vero telescopii inventore. Hagae-Comitum. 1655.

schenk erhalten hatte, und daß dasselbe von Johannes Zacharides und dessen Vater Zacharias Johannides (Zacharias Janssen) in Middelburg angefertigt worden war. Fontana scheint das Mikroskop mit zwei converen Linsen erfunden zu haben, was ihm auch von Niemandem streitig gemacht worden ist *). Im Jahre 1612 soll Galiläi ein Mikroskop an den König von Polen, Sigismund, gesendet haben.

Die besten Mikroskope der neueren Zeit sind nach Schacht (a. a. O. S. 11.) von Georges Oberhäuser in Paris, von Amici in Florenz, von Robert in Greifswald, von Schiek in Berlin, von Bénèche und Wasserlein ebendaselbst, von Wappenhans gleichfalls in Berlin, von Plößl in Wien, von Merz und Söhne in München, von Kellner in Wetzlar und von Nachez in Paris verfertigt worden, wenigstens kann derselbe nur diese aus eigener Erfahrung empfehlen **).

b) Das katoptrische Mikroskop.

Die Erscheinungen, welche Hohlspiegel zeigen, stimmen mit denen überein, welche man bei Converngläsern beobachtet, nur daß das Bild bei beiden auf entgegengesetzten Seiten liegt, also bei jenen hinter dem Spiegel, wenn es bei diesen vor dem Glase sich befindet, und umgekehrt. Man kann deshalb bei einem Mikroskope die Objectivlinse eben so durch einen Hohlspiegel ersetzen, wie es Newton bei seinem Spiegelteleskope that. Mikroskope, bei welchen dies geschehen ist, nennt man katoptrische Mikroskope oder Spiegelmikroskope ***).

Amici hat die ausgezeichnetsten derartigen Instrumente geliefert und umstehende Fig. I. S. 1069 stellt ein solches vor. Das Lichtbündel, welches von dem Objecte kommt, fällt auf einen kleinen ebenen Spiegel von Metall mm', der das Licht auf den Hohlspiegel MM' wirft, und von hier aus wird durch abermalige Zurückwerfung ein Bild in der Nähe des Oculars erzeugt, welches durch die Oculare beobachtet wird, wie sie bei den dioptrischen Mikroskopen angewendet werden. Der Spiegel MM' ist elliptisch gekrümmt. Besonders ausgezeichnet ist die Vollkommenheit, mit welcher Amici die Spiegel herstellt. Daß die Gegenstände durch Spiegel und Lichter passend erleuchtet werden, bedarf kaum der Bemerkung ****).

*) Vergl. Geschichte der Optik v. E Wilde. Berlin 1838. Bd. I. S. 146 ff.

**) Eine Beschreibung und Abbildung eines Amici'schen Mikroskops findet sich in Dingler's polyt. Journ. Bd. XXXII. Hft. 4, desgl., aber nicht so ausführlich, in Baumgartner's Journ. Bd. VI. S. 92; über ein kleines achromatisches Mikroskop desselben s. Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 476. Das Mikroskop von Oberhäuser ist in großem Maßstabe abgebildet bei Schacht a. a. O. Taf. I. nebst Beschreibung auf S. 196; ein Mikroskop von Bénèche ebendaselbst, S. 197 und Taf II. Ueber das aplanatische Mikroskop von Merz s. Pogg. Ann. Bd. XVII. S. 54. Wegen verbessernder Vorschläge von Barfuß vergl. Pogg. Ann. Bd. LXVIII. S. 88; namentlich will er die sphärische Abweichung durch eine eigene, in beträchtlicher Entfernung vom Objective abstehende Doppellinse aus Kronglas heben.

***) Schweigger's Journ. Bd. LX. S. 179.

****) Amici hat (Ann. de Chim. et de Phys. T. XXII. p. 187) an seinen Mikroskopen eigene Vorrichtungen zum Nachzeichnen der beobachteten Gegenstände angebracht, wozu er

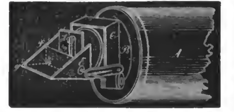
c) Das Sonnenmikroskop und dessen Abänderungen.

Stellt man einen Gegenstand außerhalb der Brennweite einer Converlinse auf, so erhält man hinter derselben ein physisches Bild, welches man auf einer Fläche auffangen kann. Je näher das Object dem Brennpunkte kommt, desto weiter entfernt sich der Ort des Bildes, dieses wird aber zugleich größer, so daß man die Vergrößerung nach Belieben weit treiben kann. Da mit der Zunahme der Vergrößerung eine Lichtschwächung verbunden ist, so kommt es darauf an, das Object recht stark zu beleuchten, und hierzu bediente sich zuerst Lieberkühn 1738 des Sonnenlichtes, der mithin der Erfinder dieses Mikroskopes ist, wenn auch bereits 1710 Balthasaris in Erlangen die Theorie desselben entwickelt hatte.

Eines der vollkommensten Sonnenmikroskope ist in umstehender Fig. 11. abgebildet. Der Beleuchtungsapparat besteht aus dem gläsernen Planspiegel M, einer ersten beleuchtenden Linse RJ von 15 oder 18 Linien Durchmesser und einer zweiten Linse mit kurzer Brennweite SU, welche der Focus (Heerd) heißt. Der Spiegel M wirft das Sonnenlicht zurück, so daß in die Röhre T ein Lichtbündel parallel der Are derselben gelangt. Durch die erste und zweite Linse wird das Lichtbündel immer stärker convergirend gemacht, so daß die Spitze des ganzen Lichtkegels nahe bei den in der Nähe des Brennpunktes von SU aufgestellten Gegenstand fällt. Um diese Bedingung zu erfüllen, ist es nötbig, daß der Focus beweglich sei, und dies geschieht mitteist einer gezahnten Stange längs seiner Fassung und eines Getriebes, dessen Knopf sich bei B außerhalb der Röhre befindet. Die Anbringung des Gegenstandes, welcher durchscheinend sein muß, ist von Wichtigkeit. Will man z. B. kleine Körper in Flüssigkeiten beobachten, z. B. Blutkügelchen oder Thierchen verschiedener Art und dergleichen, so breitet

---

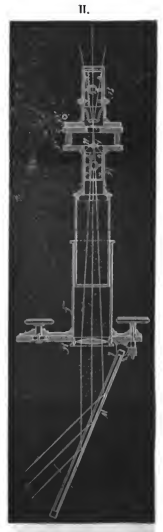
sich der von ihm verbesserten Camera lucida bedient. (Vergl. Art. Camera lucida. Bd. I. S. 929) Die neueste Methode, welche er anwendet ist folgende: Wenn in beistehender Fig. A die Röhre des Instrumentes, B das Ocular vorstellt, so bezeichnet C ein daran geschobenes Kastchen; D einen aufrechten Planspiegel von rectanguläcer Form, der in der Mitte eine Spalte i (z. B. von weggenommener Belegung) etwas kleiner als die Oeffnung der Pupille hat; E die Fassung eines vor dem Spiegel befindlichen, rechtwinkeligen, gleichschenkeligen Glasprismas. Befindet sich nun unterhalb desselben die Hand des Beobachters mit einem Zeichenstifte, so dringen die Strahlen davon durch die untere Seite gh des Prismas ein, werden von seiner Hypothenuse fg nach fh reflectirt, wo sie heraustreten und in den Planspiegel gelangen. Wenn also das Auge bei l steht, so wird es mit einem Theile seiner Sehöffnung durch die Spalte das Bild des vergrößerten Objectes, zugleich aber auch mit dem anderen durch den Planspiegel das (aufrechte) Bild der Hand in das Bild projicirt sehen, und daher jenes mittelst des Zeichenstiftes auf einem horizontalliegenden Papiere leicht entworfen werden können. — Am zweckmäßigsten dürfte es sein, mit einem Mikroskope ein Dicatopter von v. Hagenow in Verbindung zu bringen, was leicht ausführbar sein möchte, wenn man mit dem Oculare ein rechtwinkeliges Prisma in Verbindung brächte, in welchem sich das Bild spiegelte. Ob dies schon versucht ist, weiß ich nicht; doch scheint dieser Anwendung des Dicatopters nichts im Wege zu stehen. H. C.



I.



II.

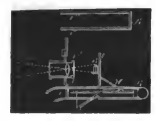


man einen Tropfen der Flüssigkeit auf einen Glasstreifen mit parallelen Wänden aus und bringt denselben unter das Licht des Focus, indem man die Flüssigkeit nach ihm hin wendet. In vielen anderen Fällen kann der Gegenstand einfach zwischen zwei Glasstreifen gebracht werden. Endlich kommen auch Fälle vor, wo man ihn in ein Gefäß mit parallelen Glaswänden einschließen muß, das mit Flüssigkeit gefüllt ist, z. B. wenn man die Cirkulation des Blutes in dem Schwanze der Froschlarve beobachten will und dergleichen. Alle diese Gegenstände können bequem an das Mikroskop gebracht werden mit Hülfe eines Mechanismus, der in

unserer Figur bei PP' dargestellt ist. P und P' sind viereckige Streifen von Kupfer, die an den vier Ecken durch kleine Säulen von demselben Metall verbunden sind. Auf jeder der Säulchen befindet sich eine Spiralfeder, welche die dritte Platte Q gegen die Platte P' drückt. Zwischen Q und P' werden die Glasstreifen und dergleichen geschoben, welche die Gegenstände tragen. Dieser Mechanismus muß sich um die Röhre T drehen lassen, damit man dem Object verschiedene Stellungen geben kann, ohne ihn zu verrücken und ohne sein Bild aus dem Auge zu verlieren. Um nun ein vergrößertes Bild des Gegenstandes zu erhalten, wird die Linse L die eigentliche Objectivlinse mittelst einer gezahnten Stange und eines Getriebes (dessen Knopf bei B' sich befindet) so lange dem Object genähert oder von ihm entfernt, bis ein Bild des Gegenstandes mit größtmöglicher Schärfe und Klarheit auf einer weißen mit Leinwand oder Papier überzogenen Tafel 10, 15 bis 20 Fuß von dem Instrument abstehend erscheint. Das Zimmer, in dem die Tafel steht, muß natürlich dunkel sein, während das Instrument in einer Wand desselben angebracht ist. Den Grad der Vergrößerung kann man leicht mittelst eines Objectmikrometers, das an die Stelle des Objects gestellt worden, messen, wenn man seine Eintheilung kennt und beobachtet, wie viele Grade dieser Eintheilung einen wie großen Raum im Bilde einnehmen. Bei den älteren Instrumenten erscheint das Bild stets durch die Farben des Sonnenbildes verunreinigt, namentlich an den Rändern und dunkleren Partien. Diesem Uebelstande haben Vincent und Charles Chevalier dadurch abgeholfen, daß sie bei ihren Mikroskopen achromatische Linsen mit hinreichend kurzer Brennweite anwendeten, z. B. von 2, 3 oder 4 Linien. Will man starke Vergrößerungen haben, so kann die Eine Linse L durch 2 oder auch 3 Linsen ersetzt werden.

Wir bemerken noch, daß das Sonnenmikroskop zu wissenschaftlichen Untersuchungen nicht brauchbar ist und mehr zur Unterhaltung dient; auch möge die Bemerkung noch eine Stelle finden, daß dasselbe eigentlich eine magische Laterne ist, worüber der Art. Zauberlaterne zu vergleichen.

Da dies Mikroskop sich nur für kleine Gegenstände eignet, so hat Charles um 1780 es dahin abzuändern gesucht, daß man auch größere Körper, z. B. eine ganze Spinne auf einmal übersehen konnte. Es ist dies das sogenannte Megaskop (v. d. griech. μέγας, groß). Beistehende Figur stellt ein Megaskop dar, welches aus einer einzigen Linse LL' besteht, vor welcher man den (undurchsichtigen) Gegenstand B aufstellt, dessen Bild man haben will. Die Linse LL' muß 28 bis 30 Linien Durchmesser haben, um ein hinlängliches Feld zu umfassen und dem Bilde hinreichende Helligkeit zu gewähren. Sie muß in einer etwas langen Röhre befestigt sein, welche das Licht der Wolken und die Seitenreflexion abhält. Zu dem Ende kann auch in der Röhre ein Diaphragma angebracht sein. Natürlich kann die Eine Linse auch durch mehrere hinter einander stehende ersetzt werden.



Vor der Oeffnung, an welche man sorgfältig die Fassung der Linse anpaßt, sind in gleichem Niveau zwei horizontale Eisenstäbe befestigt, von denen FR den einen darstellt, und deren Verbindung FRF' zeigt. Diese Stäbe tragen eine Art Wagen CH, welcher auf Walzen rollt und dessen verticale Platte C zur Aufnahme der

Objecte bestimmt ist. Eine doppelte Schnur, deren Enden in die dunkle Kammer reichen (in welcher das Bild beobachtet wird), ist an den Wagen befestigt und dient das Object B der Linse zu nähern oder von ihr zu entfernen. Zwei oder mehrere ebene Glasspiegel sind äußerlich angebracht, um auf das Object das Licht der Sonne zu reflektiren und um in dem einen oder dem anderen Sinne Schatten zu werfen. In gewissen Fällen können die Spiegel auch an den Wagen befestigt sein, um sich mit ihm zu bewegen. Man bedient sich dieses Instrumentes auch, um vergrößerte (oder verkleinerte) Bilder von Zeichnungen, Gemälden, kleinen Bildwerken oder Basreliefs zu erhalten. Ist die Tafel, auf welcher man das Bild auffängt, von Papier oder Musselin, wie beim Sonnenmikroskop, so erblickt man vor demselben stehend das Bild. Statt dessen kann man das Bild auch auf einer Tafel mattgeschliffenen Glases auffangen, hinter welcher stehend man es erblickt. Dann kann man die Bilder mit Leichtigkeit auf Strohpapier durchzeichnen.

Das Lampenmikroskop von Adams 1771 unterscheidet sich von den zuletzt erwähnten Instrumenten eigentlich nur dadurch, daß bei ihm die Beleuchtung durch eine Lampe geschieht. Es hat daher wiederum wesentlich zwei verschiedenartige Theile, nämlich solche, welche zur Beleuchtung des Gegenstandes dienen und solche, welche das vergrößerte Bild desselben geben. Die ersteren sind eine argand'sche Lampe, ein convexes Glas und ein Hohlspiegel; die letzteren sind eine kleine convexe Glaslinse und zwei, mehrere Zoll breite, Convergläser, die nahe beisammen stehen und vereinigt als Ein convexes Glas wirken. In der beistehenden Figur ist f die Stelle, wo die Lampenflamme sich befindet. Sie ist im Brennpunkte des convexen Glases g g'; daher werden die aus f kommenden Strahlen parallel, und fallen auf den Hohlspiegel, der so geneigt wird, daß sie von ihm reflectirt auf dem Objecte a b vereinigt werden.



Dieses ist nun stark erleuchtet, und da es kein Spiegel ist, so fährt das darauf gefallene Licht von jedem Punkte, also auch von a und b in divergenten Strahlen zurück. Es fällt nun auf die Linse l, außerhalb deren Brennweite das Object aufgestellt ist, so daß man hinter l ein umgekehrtes und um so mehr vergrößertes Bild erhalten würde, je näher das Object an dem Brennpunkte der Objectivlinse steht. Dies Bild wird durch zwei Sammelgläser bei a'b' unterbrochen, von denen jedes eine Brennweite von etwa 15 bis 16 Zoll hat, und das hierdurch erzeugte physische Bild a''b'' betrachtet das Auge in o, woselbst zur Bequemlichkeit gewöhnlich auf einem Gestelle ein Diaphragma angebracht wird, an dessen Oeffnung sich das Auge anlegt. Je kleiner die Brennweite der Objectivlinse ist, desto größer erscheint natürlich das Object.

In neuerer Zeit hat man sich des Drummond'schen Kalklichtes *) als Lichtquelle statt des Sonnenlichtes bei den Sonnenmikroskopen bedient und das Instrument Hydro-Oxygengas-Mikroskop genannt. In gleicher Weise hat man das Licht durch den elektrischen Strom glühend gemachter Kohlenspitzen

*) Vergl. Art. Flamme. Bd. III. S. 237.

benutzt *) und das so abgeänderte Sonnenmikroskop photoelektrisches Mikroskop genannt **). Nach den Versuchen von Fizeau und Foucault ist die Intensität des elektrischen Lichtes, wenn man das der Sonne als Einheit annimmt, gleich $^2/_5$ und das des Hydrooxygengases gleich $^1/_{140}$.

Schließlich verweisen wir noch auf Art. Apparat Bd. I. S. 248, wo über die respectiven Preise verschiedener Mikroskope Auskunft zu finden ist, und außerdem bemerken wir noch, daß man in neuester Zeit auch binoculare Mikroskope, d. h. Mikroskope für beide Augen zugleich nach Art der Operngucker, in Vorschlag gebracht hat, um stereoskopische Bilder von mikroskopischen Gegenständen zu erhalten. Weatstone ***) erinnert, daß schon in einem Werke des Pater Cherubin von Orleans aus dem Jahre 1677 ein binoculares Mikroskop ausführlich beschrieben sei, und giebt das Verfahren und die Einrichtung an, mittelst deren man complementäre photographische Bilder mikroskopischer Objecte für das binoculare Sehen darstellen kann. H. E.

Milchstraße, bei den Griechen ὁ γαλαξίας κύκλος ****), bei den Chinesen und Arabern Himmelsfluß, bei den Wilden Nordamerikas Weg der Seelen, bei den Bauern in Frankreich — nach dem Vorgange spanischer Mönche *****) — Weg des heiligen Jacob von Compostella genannt, heißt der lichte Streifen, welcher fast in der Richtung eines größten Kreises über das Himmelsgewölbe hingeht.

A. v. Humboldt †) giebt eine Uebersicht des Verlaufes und der Richtung der Milchstraße nach der Folge der Rectaseensionen:

Durch γ und ε der Cassiopeia hindurchgehend, sendet die Milchstraße südlich einen Zweig nach ε des Perseus, welcher sich gegen die Plejaden und Hyaden verliert. Der Hauptstrom, hier sehr schwach, geht über die Böckchen im Fuhrmann, die Füße der Zwillinge, die Hörner des Stieres, das Sommer-Solstitium der Ekliptik und die Keule des Orion nach 6^h 54′ AR (für 1800), den Aequator an dem Halse des Einhorns schneidend. Von hier an nimmt die Helligkeit beträchtlich zu. Am Hintertheile des Schiffes geht ein Zweig südlich ab bis γ Argûs, wo derselbe plötzlich abbricht. Der Hauptstrom setzt fort bis 33° südl. Decl., wo er, fächerförmig zertheilt (20° breit), ebenfalls abbricht, so daß in der Linie von γ und λ Argûs sich eine weite Lücke in der Milchstraße zeigt. In ähnlicher Ausbreitung beginnt letztere nachher wieder, verengt sich aber an den Hinterfüßen des Centauren und vor dem Eintritte in das südliche Kreuz, wo sie ihren schmalsten Streifen von nur 3° oder 4° Breite bildet. Bald darauf dehnt sich der Lichtweg wieder zu einer hellen und breiten Masse aus, die β des Centauren wie α und β

*) Vergl. Art. Galvanismus. Bd. III. S. 320.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. C. S. 101. Bullet. de la soc. d'enc. 1843. p. 393.

***) Silliman Americ. Journ. (2) T. XVII. p. 140. Quarterly Journ. of mikroscop. scien. T. IV. p. 99.

****) Manilius (Astronomicon lib. I.) theilt die Fabel des Alterthums von der Milch der Juno mit.

*****) Bode, Anleitung zur Kenntniß des gestirnten Himmels. 9. Aufl. Berlin 1823. S. 148.

†) Kosmos. Bd. III. S. 185—187; vergl. auch John Herschel in Outlines. p. 528—531.

des Kreuzes einschließt und in deren Mitte der schwarze birnförmige Kohlensack liegt. In dieser merkwürdigen Region, etwas unterhalb des Kohlensackes, ist die Milchstraße dem Südpole am nächsten. Bei α des Centauren tritt die Haupttheilung ein: eine Bifurcation, welche sich nach den älteren Ansichten bis zu dem Sternbilde des Schwanes erhält. Zuerst, von α des Centauren aus gerechnet, geht ein schmaler Zweig nördlich nach dem Wolfe hinwärts, wo er sich verliert; dann zeigt sich eine Theilung beim Winkelmaße (bei γ Normae). Der nördliche Zweig bildet unregelmäßige Formen bis in die Gegend des Fußes des Schlangenträgers, wo er ganz verschwindet; der südliche Zweig wird jetzt der Hauptstrom, und geht durch den Altar und den Schwanz des Scorpions nach dem Bogen des Schützen, wo er in 276° Länge die Ekliptik durchschneidet. Weiterhin erkennt man ihn aber in unterbrochener, fleckiger Gestalt, fortlaufend durch den Adler, den Pfeil und den Fuchs bis zum Schwan. Hier beginnt eine sehr unregelmäßige Gegend: wo zwischen ϵ, α und γ des Schwanes eine breite, dunkle Leere sich zeigt, die Sir John Herschel *) mit dem Kohlensacke im südlichen Kreuze vergleicht und die ein Centrum bildet, von welchem drei partielle Ströme ausgehen. Einer derselben, von größerer Lichtstärke, kann gleichsam rückwärts über β des Schwanes und ϵ des Adlers verfolgt werden, jedoch ohne sich mit dem bereits oben erwähnten, bis zum Fuße des Schlangenträgers (Ophiuchos) gehenden, Zweige zu vereinigen. Ein beträchtlicher Ansatz der Milchstraße dehnt sich außerdem noch vom Kopfe des Cepheus, also in der Nähe der Cassiopeia, von welcher Constellation an wir die Schilderung der Milchstraße begonnen haben, nach dem Kleinen Bären und dem Nordpole hin aus.

Die Milchstraße bleibt also etwa $^2/_5$ ihres Zuges ungetheilt, und während in der Gegend des Schlangenträgers ihre Zweige über 22 Grade Breite einnehmen, geht sie an anderen Stellen nicht über 5 Grad Breite hinaus. Der größte Kreis, welchen dieselbe ungefähr einnimmt, ist gegen den Aequator unter 63° geneigt; die Pole derselben liegen RA 12^h 47′, nördl. Decl. 27° und RA 0^h 47′, südl. Decl. 27°; also in der Nähe des Haupthaares der Berenice und zwischen Phönix und Wallfisch.

Die Milchstraße hat ihre lichte Farbe von der Menge der in ihr stehenden Fixsterne, die wir wegen ihrer gewaltigen Entfernung von uns nicht als einzelnstehende Punkte unterscheiden können. Schon Demokrit **) hatte dies vermuthet, Manilius (a. a. O.) stimmte dem bei, entschieden wurde diese Ansicht aber nach Erfindung der Fernröhre, denn Galilei schon erkannte zahllose Sterne, wo das unbewaffnete Auge von ihnen nichts erblickte ***). Kepler ****) hielt die Milchstraße für einen Ring und setzte die Sonne in die Nähe desselben. Thomas Wright von Durham *****) nahm eine systematische Vertheilung

*) Outlines, p 531.

**) Plutarchi Placita philosophorum. T. III. Cap. 1.

***) Hierzu die beiden Himmelskarten aus Arago's populairer Astronomie.

****) Epitome Astronomiae Copernicanae; vergl. Apelt, Joh. Kepler's astron. Weltansicht. Leipzig 1849. S. 23 und Struve's Etudes d'Astron. stellaire. Petersb. 1847. p. 4.

*****) Theory of the Universe. London 1750, s. Morgan in Philos. Magaz. Ser. III. No. 32. p. 241. v. Humboldt's Kosmos Bd. III. S. 187.

der Sterne um eine Fundamentalebene an. Kant *) adoptirt die Ansicht Wright's und setzt hinzu, daß sich unsere Sonnenwelt, wenigstens nahezu, in der Ebene der Milchstraße selbst befinde, in derselben aber eine excentrische Stelle einnehme. Lambert **) schließt sich dem an, indem er sagt, daß das ganze System der unsichtbaren Fixsterne nicht sphärisch, sondern flach sei; die Sterne seien nahezu gleichförmig vertheilt zwischen zwei Flächen, welche nach allen Richtungen hin ungeheure Ausdehnung besitzen und einander verhältnißmäßig sehr nahe liegen; unsere Sonne befinde sich in einer von dem Mittelpunkte jener unermeßlichen Sternenschicht nur wenig entfernten Gegend. W. Herschel ist es zuerst mit seinen Riesenteleskopen gelungen, die Milchstraße wenigstens in den meisten Theilen in einzelne dicht bei einander stehende Sterne aufzulösen; außerdem haben W. und J. Herschel nachgewiesen, daß die Fixsterne von der 5. und 6. Ordnung herab bis unter die 10. und 15. Größe an Dichtigkeit in der Zusammenstellung regelmäßig zunehmen, je nachdem man sich dem Kreise der Milchstraße nähert, so daß die Menge der Fixsterne mit der Annäherung an dieselbe wächst und in den Polen derselben gewissermaßen Stern-Armuth herrscht ***). In einem Abstande von 0°, 30°, 60°, 75° und 90° von dem nördlichen Pole der Milchstraße sind die Verhältnißzahlen der in einem Felde des Teleskops von 15 Minuten Durchmesser nach den angestellten Sternaichungen: 4,15; 6,52; 17,68; 30,30 und 122,00.

Hiernach ist es Herschel wahrscheinlich, daß die ganze große Anhäufung von Sternen eine linsenförmige Gestalt bildet, nahe in deren Mittelpunkte unser Sonnensystem sich befindet; denn wären die Sterne in einer Kugel gleichmäßig vertheilt, in deren Mittelpunkte wir ständen, so müßten sie gleichmäßig vertheilt erscheinen, und hätte unsere Sonne eine excentrische Stellung in solchem Falle, so würden die Sterne nach einer Seite hin dichter, nach der anderen weiter auseinander erscheinen. Blicken wir aber gegen die scharfe Kante der von Herschel angenommenen Linse, so erscheinen uns unzählige Sterne hinter einander, daher dicht zusammengedrängt, während nach der Mitte der beiden großen Seitenflächen dieser Linse, also nach den beiden Polen der Milchstraße zu, nur wenige weit auseinanderstehende Sterne sichtbar sind.

Wahrscheinlich bildet also die Milchstraße mit ihren unzählbaren Sternen einen Theil des ganzen Sternensystems, deren verschwindend kleiner Theil unser Sonnensystem ist. Einem Beobachter außerhalb dieses Sternensystems würde in weiter Entfernung dieses als ein Nebelfleck erscheinen, und so können wir muthmaßen, daß die Nebelflecke, welche wir am Himmel wahrnehmen, wiederum Milchstraßen oder andere, dem unseren ähnliche, Sternensysteme sind. Wie A. v. Humboldt sagt, kann sich hier die geistige Anschauung nur ahnungsvoll erheben. H. E.

Mineral (von dem franz. Wort minérai, Erz). Es hält sehr schwer, für dieses Wort eine scharf begrenzte Definition zu geben. Naumann bezeichnet

*) Gesammtausgabe von Kant's Werken. Leipzig 1838. Bd. VIII. S. 252; oder Kant's Naturgeschichte und Theorie des Himmels. 4. Aufl. Zeitz 1808. S. 9.

**) Kosmologische Briefe. Augsburg 1761. S. 128.

***) v. Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 176. Philos. Transact. for 1785. T. LXXV.

mit dem Worte Mineral einen jeden homogenen, starren oder tropfbarflüssigen, anorganischen Körper, welcher ein unmittelbares — ohne Mitwirkung organischer Processe und ohne menschliches Zuthun entstandenes — Naturproduct ist. Hiernach würden z. B. die Steinkohlen, Braunkohlen, der Bernstein, Polirschiefer ꝛc., die man gewöhnlich als zum Mineral gehörig ansieht, keine Mineralien sein, da sie aus der Zersetzung und Umbildung vorweltlicher organischer Körper entstanden sind. Man sucht sich dadurch zu helfen, daß man die Ausdrücke Fossil und Mineral für gleichbedeutend nimmt. Hiermit ist aber wenig geholfen, denn unter Fossilien begreift man alle Dinge, die aus der Erde gegraben werden und zur Masse derselben gehören. Dieser Begriff umfaßt mithin nicht die Mineralien allein, sondern auch die Versteinerungen. Man giebt also dem Begriff Mineral bald eine weitere, bald eine engere Bedeutung, und daher kann man darüber streiten, ob dieser oder jener Körper ein Mineral ist oder nicht, wie dies bei der Auffindung des Strumit der Fall war.

Die Mineralien bilden die Bestandtheile unserer Erdrinde. Das Innere unseres Planeten ist uns zwar unbekannt, aber es läßt sich doch mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß sich hier dieselben Bestandtheile vorfinden, wie in der äußeren Kruste. Dadurch, daß die Mineralien sich nicht durch sich selbst verändern, sondern in dem bei ihrer ersten Bildung erhaltenen Zustande, der nur durch fremde physische oder chemische Einflüsse verändert werden kann, verharren, unterscheiden sie sich wesentlich von den organischen Körpern.

Die Wissenschaft, welche sich mit den Mineralien befaßt, nennt man die Mineralogie. Sie macht einen Theil der Naturbeschreibung aus und hat es mit den individuellen unorganischen natürlichen Körpern zu thun, während die Botanik und Zoologie die individuellen organischen natürlichen Körper umfassen. Freilich muß auch hier der Begriff „Individuum" etwas weiter gefaßt werden. Allerdings begreift das Mineralreich wahre Individuen in sich. Es sind dies die Krystalle, deren jeder ein in sich abgeschlossenes selbstständiges Ganzes bildet, das, ohne seine wesentliche Form zu verlieren, nicht getheilt werden kann. Freilich treten die Mineralien nur sehr selten in einzelnen gut ausgebildeten Krystallen auf, vielmehr bestehen erstere meistens aus Massen, die durch eine Menge unvollkommen ausgebildeter Krystalle gebildet werden. Bei einem großen Theil der Mineralien ist selbst durch das Mikroskop keine Spur einer krystallinischen Bildung zu erkennen; aber auch bei diesen spricht sich ein Streben nach Individualität darin aus, daß sie, wenn sie nach dem Schmelzen frei und ungehindert erstarren, die Kugelform annehmen.

Die Mineralogie zerfällt in zwei Haupttheile oder Disciplinen: die Oryctognosie und Geognosie. Die erstere (von ὀρυκτός, was gegraben wird) handelt von den einzelnen, so zu sagen einfachen, d. h. sichtlich nicht gemengten Mineralien. Der zweiten Disciplin ist Bd. III. S. 508 ein eigener Artikel gewidmet. Die Petrefaetenkunde, d. h. die Lehre von den Versteinerungen, durch welche die Mineralogie mit der Zoologie und Botanik verbunden wird, haben wir als eine Hülfswissenschaft der Geognosie anzusehen. — Werner führt außerdem noch als Theile der Mineralogie die mineralische Geographie, die Mineralchemie und ökonomische Mineralogie an. W. B.

Mineralwasser, künstliche. Schon im Alterthum waren natürliche Heil-

quellen bekannt und zu einem hohen Ansehen gelangt *). Im Laufe der Zeit erweiterte sich deren Zahl und Gebrauch immer mehr und bald wurden sie der Tummelplatz des Luxus und sonstiger menschlicher Thorheiten, so daß es dem, der nicht mit zeitlichen Gütern gesegnet war, immer mehr und mehr erschwert wurde, seine zerrüttete Gesundheit durch den Genuß des heilkräftigen Wassers an seinem Ursprungsorte wieder herzustellen. Schon frühzeitig tauchte daher der Gedanke auf, mit Hülfe der Wissenschaft die Mineralwasser nachzuahmen. Gewöhnlich nimmt man an, daß Thurneisser zuerst 1560 versucht habe, diesen Gedanken zur Ausführung zu bringen; aber zu seiner Zeit war die Kenntniß von der Zusammensetzung der natürlichen Heilquellen eine so dürftige, daß dieser Versuch der Nachbildung kaum der Erwähnung werth ist. Zuvor hatte schon Paracelsus die Reihe derer eröffnet, welche der chemischen Untersuchung der Mineralwasser eine größere Aufmerksamkeit widmeten, aber nach ihm kam wieder eine ganze Schaar von Pfuschern, als deren Oberhaupt gerade Thurneisser genannt wird **). Selbst die späteren Versuche von Hoffmann (1685), Geoffroy (1724) und Anderen lieferten Resultate, die kaum besser waren. Wie wenig Aussicht die Wissenschaft selbst noch in der Mitte des vorigen Jahrhunderts eröffnete, den Wunsch und die Hoffnung, welche schon Baco von Verulam ausgesprochen hatte, daß es den Fortschritten der Chemie bald gelingen möge, alle Mineralwasser künstlich nachzumachen, in Erfüllung gehen zu lassen, dafür giebt uns Venel, Professor der Chemie zu Montpellier, einen schlagenden Beweis. Er überreichte 1750 der Akademie der Wissenschaften zwei Denkschriften ***), in denen er nachwies, daß das Selterwasser und die übrigen bekannten Säuerlinge den prickelnden Geschmack und das Aufschäumen, eben so wie der Champagner, einer beträchtlichen Menge Luft verdankten, die darin aufgelöst sei; aber er weigerte sich hartnäckig anzuerkennen, daß die Luftart in diesen Wassern verschieden sei von der atmosphärischen Luft. Trotzdem aber war er doch der erste, der den Weg einschlug, auf welchem man, freilich erst viel später, dahin gelangte, das Problem der Bereitung der Mineralwasser zu lösen. Er sättigte zuerst eine Salzlösung mit Kohlensäure dadurch, daß er Salzsäure in verschlossenen Gefäßen auf kohlensaures Natron einwirken ließ.

Je mehr sich die chemische Kenntniß der Mineralquellen erweiterte, häuften sich auch die Versuche, solche nachzuahmen. Die erste medicinische Anwendung künstlicher Mineralwasser hat der schwedische Chemiker Bergmann gemacht. Er sagt nämlich in seiner ausführlichen Abhandlung über die Luftsäure (Kohlensäure) ****), die er 1774 an die königl. Akademie in Stockholm einreichte: „Mit Hülfe derselben und indem man einige Salze genau in dem Verhältniß, wie es die Analyse gelehrt hat, hinzufügt, kann man die Wasser von Selters, Spaa und Pyrmont vollkommen nachahmen. Schon seit acht Jahren mache ich von diesen künstlichen Mineralwassern Gebrauch und habe ich davon die glücklichsten Wirkungen gesehen." Hiernach ist die Angabe unrichtig, daß Priestley zuerst 1772

*) Plinius, hist. nat. T. XXXI. p. 2.

**) Kopp, Geschichte der Chemie. Bd. II. S. 54.

***) Mémoires présentés à l'Académie des sciences de Paris par divers savants étrangers. Vol. II. p. 53. 80 et 337.

****) Opuscula physica et chemica. Lipsiae 1788. Vol. I.

Wasser direct mit Kohlensäure imprägnirt habe. Bereits 1787 wurde durch Mayer in Stettin Selterwasser im Großen bereitet. 1791 erschien in Berlin eine kleine Abhandlung: „Anweisung auf eine wohlfeile Art künstliche Mineralwasser nachzumachen", in der die Vorschriften zu Selter-, Spaa-, Pyrmonter und Egerwasser gegeben sind.

Von größerer Bedeutung war die Anstalt zur Fabrikation künstlicher Mineralwasser, die Paul 1799 in Paris eröffnete. Schon 10 Jahre früher hatte Paul dies Geschäft in Genf fabrikmäßig betrieben und hier oft jährlich 40000 Flaschen Selterwasser abgesetzt. In Paris machte der neue Industriezweig großes Aufsehen, so daß 1799 das Institut eine Commission zur Besichtigung der Werkstätte abschickte. Man wurde sehr überrascht durch die Einfachheit und Anordnung der Apparate, durch die sinnreichen Mittel, wie das Wasser herbeigeführt und filtrirt wurde, und durch die Vollkommenheit der Maschinerie für die Gasentbindung und für Compression der Gase, die hier bereits mittelst Pumpen bewerkstelligt wurde. Die Commission konnte nicht umhin dem Institut vorzuschlagen: seine Billigung dem Bürger Paul auf die ausgezeichnetste Art zu erkennen zu geben. Bald verbreiteten sich mehrere größere Anlagen über Frankreich; ähnliche wurden am Ende des vorigen Jahrhunderts durch Schweppe in London und durch Ziegler in Winterthur errichtet. In Deutschland eröffnete Fries 1803 eine solche bei Regensburg. Die Fabrikation beschränkte sich jedoch nur auf Selter-, Spaa-, Bitter- und Schwefelwasser.

Die Concurrenz, welche hierdurch den natürlichen Heilquellen gemacht wurde, veranlaßte diese auch ihrerseits zu neuen Anstrengungen, um sich die reichliche Einnahmequelle zu erhalten. Man fing an, das Wasser der verschiedenen Heilquellen in Flaschen oder Steinkrügen zu versenden, um dadurch auch den weniger bemittelten Kranken den Gebrauch der heilkräftigen Wasser zu ermöglichen. Es liegt jedoch in der Natur der Sache, daß dieses Mittel nicht geeignet war, dem Bedürfniß ganz abzuhelfen. Man konnte, der Kosten wegen, nur solche Wasser verschicken, die getrunken wurden, und zwar nur kalte Quellen. Dazu erkannte man sehr bald, daß selbst auch diese, namentlich die gasreichen und eisenhaltigen, sich in kurzer Zeit veränderten und dadurch viel von ihrer ursprünglichen Heilkraft verloren oder sogar wesentlich verschieden wirkten wie an der Quelle selbst. Die Ursache dieser Veränderung ist eine doppelte: das allmälige Entweichen der gasförmigen Bestandtheile und die Oxydation des Eisens, da sich eine Beimengung von atmosphärischer Luft beim Füllen an der Quelle nicht gut vermeiden läßt. Das Eisenoxydul geht in Oxyd über und schlägt sich nieder. Je wärmer nun ein Mineralwasser ist, um so leichter zersetzt es sich, daher mußte man von der Versendung der warmen Quellen, so oft man sie auch versucht hat, immer wieder abstehen. Ist einmal die Veränderung eingetreten, so läßt sie sich nicht wieder beseitigen.

Diese Thatsachen waren es, die Struve in Dresden auf den Gedanken brachten, durch künstliche Darstellung der Mineralwasser und durch Einrichtung von Anstalten, in denen dieselben, selbst einschließlich ihres Temperaturverhältnisses, bis zu dem Augenblicke des Verbrauches völlig naturgetreu und unzersetzt erhalten würden, jenen Uebelständen vorzubeugen und überhaupt alle Heilquellen den Hülfsbedürftigen auf diesem Wege auch ohne Badereise zugänglich zu machen. Struve, Apotheker in Dresden, litt nämlich seit 1808 an einer langwierigen

Lähmung, die er sich dadurch zugezogen hatte, daß ihm bei der Darstellung der Blausäure die Phiole platzte. In Folge seiner Krankheit war er genöthigt, die bekannten böhmischen Bäder zu besuchen. In Marienbad war es, wo zuerst der Gedanke an die künstliche Nachbildung der Mineralwasser in ihm auftauchte. Und als er selbst die oben angeführten Uebelstände der in die Ferne versendeten Mineralwasser beim Gebrauch des Eger Franzensbrunnen an sich erprobt hatte, ging er mit frischem Muth an die Ausführung seiner Idee.

Wenn schon Andere hierin vorangegangen waren, so war Struve's Unternehmen dennoch für den damaligen Zustand der Wissenschaft ein sehr gewagtes. Eine lange Reihe von Jahren waren erforderlich, um die nöthigen Vorbereitungen zu treffen. Freilich wurde er hierbei unterstützt durch die großen Fortschritte, welche gerade in jener Zeit die quantitative Analyse machte; aber dennoch war von seiner Seite eine unermüdliche Ausdauer erforderlich, bevor er seine Idee wirklich zur Ausführung bringen konnte. Vor allem kam es darauf an, der Natur das Geheimniß abzulauschen. Vor länger als tausend Jahren schon hatte Aristoteles den Satz: „aqua talis, qualis terra, per quam fluit“, aufgestellt; ferner hatten Berzelius und Bischof schon dargethan, daß die Bestandtheile der warmen natronhaltigen Quellen in Frankreich und Böhmen in einem ursächlichen Verhältniß zu den früher in jenen Gegenden wirksam gewesenen Vulkanen ständen. Aber erst Struve zeigte uns, auf Versuche gestützt, daß die Erzeugung der Mineralquellen in der Natur nur ein einfacher Auflösungsproceß sei. Die Nähe mehrerer in ihren Bestandtheilen sehr verschiedener böhmischer Mineralquellen, der von Bilin, Teplitz und der Bitterwasser von Saidschütz Püllna gaben Struve Veranlassung zur näheren Untersuchung des Vorganges bei Erzeugung dieser Quellen. Als sicherer Anhaltepunkt dienten hierbei die Analysen der Quellen und der in ihrer Nähe vorkommenden Gesteine. Es gelang ihm, wenn er durch Klingstein aus dem böhmischen Mittelgebirge kohlensaures Wasser unter starkem Druck hindurchsickern ließ und noch freie Kohlensäure hineinleitete, ein Wasser zu erhalten, das er dem von Bilin, welches aus diesem Gestein kommt, seiner chemischen Zusammensetzung und seinen physikalischen Eigenschaften nach an die Seite setzen konnte. Aehnliche Resultate erhielt er mit dem Porphyr von Teplitz, aus welchem die bekannten Quellen heraufsteigen. Eben so hellte er die Entstehung der Bitterwasser Schritt vor Schritt auf.

So war denn die Entstehung der Mineralwasser auf einfache chemische Processe zurückgeführt. Es kam nun noch darauf an, die technischen Schwierigkeiten zu überwinden, wobei Struve von Blochmann unterstützt wurde. Nach länger denn 10jährigen Vorstudien konnte endlich 1820 daran gedacht werden, die ersten Versuche der Ausführung in einem kleinen Maßstabe zu wagen. Sie fielen aber so günstig aus, daß noch in demselben Jahre der Trinkgarten in Dresden und fast gleichzeitig in Leipzig eröffnet wurde. Gemeinschaftlich mit Soltmann wurde 1823 die Trinkanstalt in Berlin eingerichtet, 1825 die in Brighton. Jetzt beläuft sich deren Zahl bereits auf 14 (Cöln, Petersburg, Moskau, Warschau, Kiew, Odessa, Riga, Königsberg, Breslau, Hannover).

Während auf der einen Seite die geachtetsten Aerzte den künstlichen Mineralwassern das Zeugniß gaben, daß sie den natürlichen in keiner Beziehung nachständen, erhob sich von der anderen Seite der heftigste Widerspruch und man proclamirte hier laut: „Die Kunst habe kein Recht, sich in diesem Bezuge mit der Natur zu

messen." Selbst die Regierungen, indem sie für den Flor ihrer Länder fürchteten, nahmen an diesem Kampfe Theil, in welchem sich eine poetisch phantastische Naturanschauung, die der Wahrheit gewaltsam ihre Augen verschloß, sehr breit machte. Man hatte keinen Gefallen an der Wirkung einfacher Naturgesetze; etwas Mystik, geheimnißvolle, unbegreiflich Vorgänge im Innern der Erde, an der Bereitungsstätte der Mineralquellen, waren willkommener. Man begabte daher die Heilquellen mit allerlei unsichtbaren Stoffen und geheimnißvollen Kräften; man belegte sie mit allerlei wunderlichen Eigenschaften. So war es z. B. ausgemacht, daß die warmen Quellen eine andere Art von Wärme besäßen, als die, welche wir zu erzeugen im Stande sind. Diese Quellen sollten nämlich langsamer erkalten, als ein künstlich durch Zusatz von Salzen bereitetes, bis auf denselben Grad erwärmtes Mineralwasser; ja das natürliche selbst sollte die wunderbare Eigenschaft verlieren, sobald es einmal erkaltet sei. Man sprach sogar von einem Brunnengeist, der dem Wasser seine Wirksamkeit verleihe. Sollte doch sogar das Wasser der Heilquellen ein ganz anderes sein. So behauptete z. B. Baumgartner, daß das Gasteiner Mineralwasser aus 3 Th. Wasserstoff und 1 Th. Sauerstoff zusammengesetzt sei, eine Behauptung, die noch 1838 von Heßler, Prof. der Physik zu Prag, und 1844 von Kiehne ausgesprochen wurde. Es fehlte nur noch, daß man eine alte Badeordnung von 1797 wieder hervorholte, in der es wörtlich hieß: „Soll Niemand das heylsam Bad ein Wasser nennen bei Straff 24 Pfennig."

Struve hat das Verdienst, den magischen Schleier, in welchen man selbst heute noch zuweilen die Heilquellen und die Ursache ihrer Wirksamkeit hüllt, zerrissen zu haben. Mit Hülfe der fortschreitenden Wissenschaft gelang es, die Truggestalten zu verscheuchen, so daß heute dieser Streit nur noch ein historisches Interesse besitzt. Die Erfahrung hat längst über den Werth von Struve's Nachbildung der Mineralwasser entschieden. So wie kein Zweifel über die Identität in chemischer und physikalischer Beziehung zwischen den künstlichen und natürlichen Mineralwässern besteht, lehrt uns die Verbreitung, welche die Anwendung der künstlichen Mineralwasser gefunden hat, daß man von Seiten der Aerzte in den medicinischen und therapeutischen Wirkungen keinen Unterschied findet. Die Sorgfalt, mit der die Mineralquellen in neuester Zeit erforscht worden sind, hat sichere Anhaltepunkte gegeben für die Nachbildung einer großen Zahl von Mineralquellen. Die Berliner Trinkanstalt veröffentlichte zu Anfang der diesjährigen Saison ein Verzeichniß folgender Mineralwasser, die stets frisch bereitet verabreicht werden:

Adelheidsquelle,	Marienbader Kreuzbrunnen,
Carlsbader Neubrunnen,	" Ferdinandsbrunnen,
" Mühlbrunnen,	Kreuznacher Elisabethquelle,
Eudowaer,	Lippspringer Arminiusquelle,
Egerer Franzensbrunnen,	Pyrmonter Brunnen,
" Salzbrunnen,	Krankenheiler Jod-Sodawasser (Johann Georgenquelle),
Emser Kränchen,	Schlesischer Obersalzbrunnen,
" Kesselbrunnen,	Friedrichshaller Bitterwasser,
Geilnauer,	Püllnaer Bitterwasser,
Homburger Elisaquelle,	Saidschützerbrunnen,
Kissinger Ragozi,	

Schlangenbad, Wildunger,
Spaaer Pouhon, Vichy (grande grille).
Selterserwasser,

Nur in einem Punkte weichen die künstlichen Mineralwasser von den natürlichen ab. Die Analysen der natürlichen Heilquellen haben ergeben, daß in ihnen auch organische Stoffe auftreten. Dies sind die Quellsäure, Quellsatzsäure und Humussäure, die wir freilich auch darstellen können. Aber außer diesen treten noch Stoffe auf, die unter dem allgemeinen Namen von Extractivstoffen und bituminösen Stoffen zusammengefaßt werden. Deren Natur ist aber noch so unbekannt, daß von einer Nachbildung derselben nicht die Rede sein kann. Wie weit ihr Fehlen daher in den künstlichen Mineralwassern ein Mangel ist, wollen wir dahingestellt sein lassen.

Ein zweiter Punkt ist der, daß in den künstlichen Nachbildungen der Gehalt an freier Kohlensäure oft ein größerer ist, als in dem Wasser der natürlichen Quellen. Dies hat aber absichtliche Gründe, weil einmal von dem Publikum die Güte der künstlichen Mineralwasser nach dem stärkeren oder schwächeren Moussiren taxirt wird, und dann ist ein kleiner Ueberschuß von Kohlensäure auch nothwendig, weil die Korkstöpsel nicht gleich vollkommen dicht schließen, selbst wenn kein Wasser hindurchdringt, und daher Gelegenheit geben, daß ein Theil der Kohlensäure sich verflüchtet. Bei den Wassern, die nur eine medicinische Anwendung finden, ist übrigens dieser Ueberschuß an Kohlensäure nur ein höchst geringer.

Bei alledem ist nicht zu leugnen, daß die künstlichen Mineralwasser entschieden manche Vortheile darbieten. Die hauptsächlichsten sind die, daß die Reise zur Quelle erspart wird und man sich ihrer an jedem Orte und zu jeder Zeit bedienen kann. Ueberdies ist der Gebrauch minder kostspielig. Ferner gewähren sie namentlich zu Anfang der Krankheit eine sehr schnelle Hülfe. Sollte der Kranke den einen oder den anderen Bestandtheil nicht ertragen können, so kann er fortgelassen oder im anderen Falle durch gewisse Bestandtheile vermehrt werden. Ueberhaupt ist es sehr leicht, mit den verschiedenen Mineralwassern zu wechseln, wenn es nöthig sein sollte. Da bei der Bereitung die zuverlässigsten Analysen zu Grunde liegen, so besitzen die künstlichen Mineralwasser stets eine genau gleiche Zusammensetzung, was sich von den natürlichen Heilwassern nicht immer sagen läßt.

Die Bereitung der künstlichen Mineralwasser ist bis jetzt noch ein Geheimniß, das Struve seinem Sohne in einem Manuscripte hinterlassen hat. Hieraus macht man den künstlichen Nachbildungen einen schweren Vorwurf, weil man sein Vertrauen ganz auf die Redlichkeit unbekannter Personen setzen müsse. Doch kann man wohl annehmen, daß in den Struve'schen Anstalten mit einer Genauigkeit und Gewissenhaftigkeit gearbeitet wird, die nichts zu wünschen übrig läßt. Eben so, daß man hier den Fortschritten der Wissenschaft Rechnung trage und die neuesten Fortschritte gewissenhaft berücksichtige. Aus diesem Grunde kann man wohl die Struve'schen Mineralwasser als Ersatzmittel der natürlichen betrachten, die ihrem Urbilde, wenn auch nicht völlig gleich, so doch sehr nahe stehen.

Die Darstellung der künstlichen Mineralwasser zerfällt der Hauptsache nach in vier Operationen: 1) die Darstellung von absolut reinem Wasser, 2) die Lösung der Salze im Wasser, 3) die Darstellung der Kohlensäure und 4) die Sättigung der Lösung mit der erforderlichen Menge von Kohlensäure.

Reines Wasser wird durch Destillation gewonnen und hierbei in der Regel, da der tägliche Bedarf ein ziemlich großer ist, sehr zweckmäßig der Kessel der Dampfmaschine benutzt. Um das destillirte Wasser von einem jeden Geruch zu befreien, den es von den Metallgefäßen angenommen hat, filtrirt man es durch Holzkohlen.

Wie die Lösungen der Salze bewerkstelligt werden, d. h. welche Verbindungen man hier anwendet und in welcher Reihenfolge sie aufgelöst werden, darüber kann wenig gesagt werden, denn dies ist eben das sorgfältig bewahrte Geheimniß. Im Allgemeinen ist es hierbei unerläßlich, daß kein Bestandtheil ausgeschlossen werden darf, der in dem natürlichen Wasser als stätig vorhanden aufgefunden worden ist, wie klein und unbedeutend er auch seiner Menge nach erscheinen möge. Die größte Sorgfalt muß darauf verwendet werden, daß die Salze genau in denselben Gewichtsverhältnissen zugesetzt werden, wie diese durch sorgfältige Analysen ermittelt worden sind. Aus diesem Grunde untersuchte Struve selbst diejenigen Wasser, die er nachbilden wollte, soweit darüber keine genauen und zuverlässigen Analysen vorlagen, nach allen Seiten hin auf das Genaueste, wobei er durch den jetzigen russischen Staatsrath Hermann und den Chemiker Bauer unterstützt wurde. Er wendete hierbei ein Verfahren an, das Aehnlichkeit mit dem hatte, welches Bunsen bei der Analyse des Nauheimer Wassers *) befolgte. Auf diese Art erhielt er sichere Resultate, nach denen er die einzelnen Salze dem Wasser zusetzte und nun ein Product gewann, das dem natürlichen Wasser gleich war, nachdem er von Zeit zu Zeit die Analysen wiederholt hatte, um durch Feststellung bestimmter Größen die zu verschiedenen Zeiten an den natürlichen Wassern beobachteten quantitativen Schwankungen der einzelnen Bestandtheile auszugleichen. Bei diesen Mustervorschriften glaubte aber Struve von allen solchen Beimischungen absehen zu müssen, die nur vorübergehend in größeren oder kleineren Zwischenräumen, immer aber in höchst unbedeutenden Mengen in einzelnen Mineralwassern auftreten und ihrer Unbeständigkeit wegen auch niemals von dem Arzte in Anschlag gebracht werden können. Diese Analysen müssen noch jetzt von Zeit zu Zeit wiederholt werden, da mit der weiteren Ausbildung der Untersuchungsmethoden auch neue, wesentliche Bestandtheile in den Mineralwassern entdeckt werden. So fand man z. B. erst 1850 in den Aachener Quellen Brom und Kohlenwasserstoff.

Diejenigen Salze, welche leicht auflöslich sind (doppelt kohlensaures Natron, Chlornatrium, schwefelsaures Natron, schwefelsaures Kali, schwefelsaure Magnesia, schwefelsaurer Kalk 2c.) bieten bei der Lösung keine Schwierigkeiten dar. Anders aber ist es mit den Verbindungen, die im gewöhnlichen Wasser unlöslich sind: die einfach kohlensauren Erden, ferner die Baryt- und Strontianverbindungen bei Gegenwart schwefelsaurer Salze, Kieselsäure, Fluorverbindungen und phosphorsaure Erden. Aus diesem Grunde ist es nicht gleichgültig, in welcher Reihenfolge und Form die verschiedenen Verbindungen dem Wasser zugesetzt werden, wenn man ein Product erzielen will, das dem natürlichen in Geschmack und sonstigen Eigenschaften vollkommen gleich sei. Hierdurch und durch eine richtige Verwendung der Kohlensäure werden unlösliche Abscheidungen und die Lösung der schwerlöslichen Verbindungen bewerkstelligt. Einige Verbindungen, wie z. B.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XII. S. 156.

das kohlensaure Eisenoxydul und die Schwefelverbindungen, werden durch die Gegenwart des freien Sauerstoffs verändert und ausgeschieden. Es ist daher nothwendig, daß sowohl das Wasser, wie auch die Kohlensäure durchaus frei von atmosphärischer Luft sei. Nach Pictet *) soll die Luft aus dem Wasser durch Sättigen desselben mit Kohlensäure entfernt werden. Man läßt dann diese Kohlensäure, bevor man neue einpumpt, entweichen.

Zur Entwickelung der Kohlensäure dient in neuerer Zeit namentlich der Magnesit, weil man hier bei Anwendung von Schwefelsäure Bittersalz als werthvolles Nebenproduct erhält. Sonst nahm man in der Regel Marmor und Salzsäure oder Kreide und Schwefelsäure. Die Entwickelung der Kohlensäure geht in großen bleiernen Cylindern vor sich, und das Gas wird in große Behälter geleitet. Auf dem Wege zu letzteren hat das Gas einen Waschapparat zu passiren, um von dem üblen Geruch, der dem Gase anhaftet, befreit zu werden. Entweder dient zu dieser Waschung luftfreies Wasser, das in einem engen und tiefen Faß enthalten ist, wobei die größere Vertheilung des Gases durch ein Sieb befördert wird, oder eine Lösung von doppelt kohlensaurem Natron.

Kaltes Wasser absorbirt unter dem gewöhnlichen Luftdrucke ein seinem Volumen gleiches Volumen Kohlensäure. Bei steigendem Druck, also bei zunehmender Dichtigkeit der Kohlensäure, vermindert sich aber die Absorptionsfähigkeit des Wassers. Bis zu einem Druck von 5 Atmosphären ist der Unterschied nicht so sehr bedeutend, wohl aber schon, wie Couërbe gezeigt hat, bei einem Druck von 7 Atmosphären. Hier ist die Menge der aufgenommenen Kohlensäure, unter dem gewöhnlichen Luftdruck gedacht, nicht mehr gleich 7 Volumen des Wassers, sondern nur gleich fünf. Doch bis zu diesem Punkte werden die künstlichen Mineralwasser nicht mit Kohlensäure gesättigt. Die, welche ausschließlich zu medicinischen Zwecken verwendet werden, enthalten in der Regel eine Kohlensäuremenge, die auf ein Volumen Wasser noch nicht einem Volumen Kohlensäure von zwei Atmosphären Dichtigkeit entspricht; nur die sogenannten Luxuswasser, die als erfrischende Getränke stark in Gebrauch sind, werden unter einem Drucke von 4 bis 5 Atmosphären mit Kohlensäure gesättigt. Ein gewöhnliches Manometer reicht daher aus, um genau die Menge der Kohlensäure anzugeben, die bei der Bereitung der Wasser absorbirt wird. Die hierbei vorkommenden Fehler sind unbedeutend und fallen nicht ins Gewicht, weil auch in den natürlichen Wassern, je nach den Jahreszeiten, Schwankungen im Kohlensäuregehalt vorkommen.

Von Wichtigkeit sind bei der Fabrikation der künstlichen Mineralwasser die Apparate, mit deren Hülfe die Kohlensäure dem Wasser einverleibt wird. Im Laufe der Zeit sind eine Menge dieser Apparate in Vorschlag gebracht und zu diesen wieder Verbesserungen angegeben worden; so von Berzelius, Welter, Bramah, Briet, Bakewell, Chausenot, Gahn, Savarusse, Soubeiran und Anderen **). Ein Haupterforderniß ist, daß alle Theile des Apparates durchaus gegen das Eindringen von Luft geschützt sind. Die Schwängerung des Wassers mit Kohlensäure geschieht auf zweifache Art. Entweder wird das Gas durch eine Zug- und Druckpumpe aus dem Gasometer geschöpft und dann

*) Gilbert's Ann. Bd. XXVIII. S. 414.

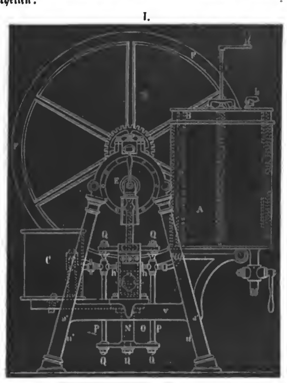
**) Berzelius, Handbuch der Chemie. Bd. I. Dingler's polyt. Journ. Bd. X. Bulletin de la société d'encour. Juli 1832.

in ein geschlossenes Gasometer hineingetrieben oder es wird von seinem Erzeugungsorte aus durch eigene Druckkraft ins Wasser hineingepreßt.

Für die Fabrikation der reichlich mit Kohlensäure imprägnirten Wasser ist gewöhnlich der Bramah'sche Apparat in Anwendung, bei welchem gleichzeitig durch ein und dieselbe Pumpe Wasser und Kohlensäure in das eigentliche Sättigungsgefäß geführt werden. Dadurch wird hier noch ein Behälter erforderlich für das schon bis zur Sättigung vorbereitete Wasser. Da die Pumpe hier immer in demselben Maße wieder Kohlensäure und Wasser zuführt, als durch den Hahn auf Flaschen gezogen wird, so bleibt in dem Condensationsgefäß die mit Kohlensäure zu sättigende Flüssigkeit stets in gleicher Menge vorhanden; man sagt daher: dieser Apparat arbeitet ununterbrochen. Bei einem zweiten Apparate, der außer diesem häufig in Gebrauch ist, wird das mit Kohlensäure beladene Wasser bis auf den letzten Tropfen abgezogen und dann die Operation wieder von Neuem begonnen.

Der Apparat von Bramah (Fig. I., II., III. und IV.) besteht aus folgenden Haupttheilen:

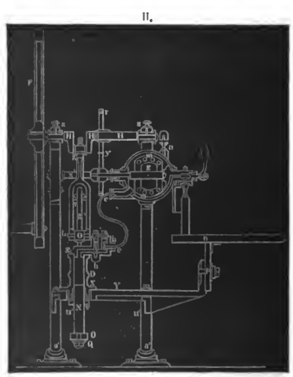
I.



A. Der Kohlensäure-Generator A (Fig. I.) und das in diesen gestülpte Gasometer B, durch dessen Boden der Stiel c einer Rührvorrichtung geht, neben welchem sich ein Hahn b befindet, um die in dem Gasometer befindliche Luft beim Niedergehen desselben entweichen zu lassen. Die Kohlensäure tritt hier also

unmittelbar in das Gasometer ein. Als Ausweg für die Kohlensäure dient ein Rohr e, das sich nach der anderen Seite hin (h Fig. I.) bis zu der an dem Stiefel der Pumpe D befindlichen Ventilkammer b (Fig. II.) fortsetzt. Es ist mit einem Hahn i versehen, durch dessen Stellung man es ganz in seiner Gewalt hat, die Mengen der Kohlensäure, die von der Pumpe fortgeführt werden sollen, zu bestimmen.

II.



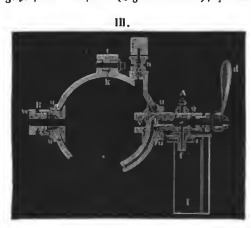
B. Das Gefäß C (Fig. I.) ist der Behälter für die mit Kohlensäure zu schwängernde Flüssigkeit. Es steht wie das Gasometer gleichfalls mit dem Stiefel der Pumpe in Verbindung durch ein Rohr h. Letzteres ist gleichfalls mit einem Hahn i versehen, der hier denselben Zweck erfüllt, wie dort.

C. Die Pumpe. Der Stiefel der Pumpe D (Fig. II.) ist von Messing oder Kupfer und hat einen breiten messingenen Ring X, womit er auf einem eisernen Riegel des Gestelles der Maschine befestigt wird; oben bei S ist er durch eine aufgeschraubte messingene Kapsel, in der sich auch die Ventilkammer b befindet, geschlossen und steht mit dieser durch eine in der Kapsel befindliche Röhre in Verbindung. Die hier befindlichen Ventile öffnen sich beide von unten nach oben; das eine liegt höher und dient zum Verschluß der Röhre e, die zum Condensator führt. Unter dem Ventil c treten die vom Gasometer und Wasserbehälter herkommenden Röhren h ein. Der Vorgang beim Spiel der Pumpe ist hiernach leicht zu erkennen. —

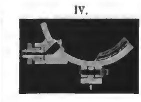
Der Stempel oder Kolben der Pumpe ist ein Cylinder von Kupfer N, der in der durch die Schraube V fest eingeschraubten, ledernen Manchette u luftdicht geht. Seine Bewegung erhält er durch Drehung des Schwungrades F, dessen Axe H in dem obersten Theile des Gestelles, das die einzelnen Theile verbindet, in den Lagern geht. Diese Axe ist mit einem doppelten Krummzapfen H H' versehen, den bei K der Stiel einer Gabel mit einer Hülse umfaßt; die Arme dieser Gabel sind bei L durch einen Bolzen, der durch ihre durchlöcherten Enden und die Mitte eines zu dem Rahmen des Kolbens gehörigen Riegels O geht, an diesem Rahmen befestigt, wodurch bei Drehung der Welle H das Auf- und Niedergehen des Stempels bewirkt wird.

D. Der kugelförmige Condensator E (Fig. I. und II.), in welchem die Imprägnation der Kohlensäure bewerkstelligt wird. Er besteht aus zwei Halbkugeln, die aus dickem stark verzinntem Kupfer angefertigt und da, wo sie gegen einander gesetzt werden, mit einem ringförmigen Reifen versehen sind. Durch letztere werden die beiden Halbkugeln vermittelst 12 Bolzen fest an einander geschraubt. Ein gußeiserner Reifen t (Fig. III. und IV.), zu dem Gestell der Maschine gehörig,

III.



IV.



worin der Condensator vermittelst vier anderer Schrauben befestigt wird, umschließt dann den ganzen Umfang des Condensators da, wo die beiden Halbkugeln zusammengefügt sind, wie dies bei K (Fig. III.) im Durchschnitt ersichtlich ist. An der einen Halbkugel befindet sich das Ventil n (Fig. II. und III.) und der zum Ablassen des Wassers aus dem Condensator bestimmte Hahn; an der anderen die Einmündung der von der Pumpe kommenden Speiseröhre e und die Oeffnung, durch welche die Welle der in dem Condensator befindlichen durchlöcherten Rührvorrichtung m (Fig. II.) austritt.

Das Ventil befindet sich in einer auf dem Condensator festgelötheten Büchse (Fig. III.). Es ist ein gewöhnliches Sicherheitsventil, das bei einem Druck von 6 bis 7 Atmosphären gehoben wird. — Der luftdichte Verschluß bei den anderen drei Oeffnungen ist auf die Weise bewirkt, daß von dem Innern des Condensators nach Außen hinaus Büchsen durch die Wände geschraubt werden, die an dem Ende, das innerhalb des Ballons bleibt, mit einem Kragen versehen sind, der nach Zwischenlegung eines Leder- oder Bleiringes fest gegen die innere Wand des Ballons drückt, wenn eine auf dem außerhalb des Ballons sich befindenden

und mit Schraubengängen versehenen Theile der Büchse aufgeschraubte Schraubenmutter stark angezogen wird, wie dies in u (Fig. III.) ersichtlich ist.

Der Ablaßhahn A (Fig. III.) ist ein Kegel- oder Stöpselventil, versehen mit der Röhre a, die bis auf den Grund des Condensators ragt und andererseits in den Hohlraum der Büchse b übergeht; dieser endigt mit einer conischen Erweiterung, wohinein der ebenfalls conische Stöpsel e sich vertieft und genau schließt. In dem anderen Theil des Stöpsels, an welchem sich die Handhabe d befindet, ist ein Schraubengewinde mit weiten Gängen eingeschnitten. Der ganze Stöpsel geht in einer mit Liderung versehenen Stopfbüchse, die den luftdichten Verschluß herstellt. Bei c ist die Büchse des Hahns bis zu dem inneren Hohlraum desselben durchbohrt, um die aus der durch das Rückwärtsschrauben des Stöpsels geöffneten Röhre a herausdringende Flüssigkeit abfließen zu lassen. Das Stück g, an welchem die Röhre f angebracht ist, bildet einen metallenen Reif, der so auf die Büchse des Hahns geschoben ist, daß die Röhre f genau unter die seitliche Durchbohrung c desselben zu stehen kommt. Oben in dem Theile g, der Röhre f gegenüber, befindet sich eine Schraube, die, wenn das ganze Stück seine richtige Stellung eingenommen hat, beim Anziehen auf die Büchse des Hahns drückt, und dadurch die Röhre f vermittelst eines zwischengelegten Kautschukringes luftdicht gegen den Rand der Oeffnung c preßt. Die Röhre f ist außen mit Schraubengängen versehen, vermittelst welcher auf sie eine mit einem Ringe von Kautschuk versehene messingene Kapsel i aufgeschraubt wird. Die Röhre f wird in die Oeffnung des Halses der zu füllenden Flasche gesteckt, die auf den einen Arm des Schwengels n (Fig. II.) gestellt wird, der sich in einem Charniere dreht und durch das Stück p an einem gußeisernen Theile Y des Gestells der Maschine durch Schrauben befestigt ist. Dieser Schwengel dient dazu, die Mündung des Halses der Flasche fest gegen den die Röhre f umgebenden Kautschukring zu drücken, um dadurch das Entweichen von Gas zu verhindern. Damit die in der Flasche enthaltene Luft entweiche, so muß ein geschicktes Lüften des Halses der Flasche stattfinden. Ist die Flasche gefüllt, so wird der Hahn geschlossen, der Schwengel n losgelassen, die Flasche rasch fortgezogen und verkorkt. Ein geschickter Arbeiter kann auf diese Weise in einem Tage 1000 bis 1500 Flaschen füllen. Damit er während des Füllens vor Verletzungen durch die nicht selten springenden Flaschen geschützt ist, befindet sich an dem Hahn A (Fig. III.) noch das Stück l, ein Theil eines messingenen Cylinders, der über der Kapsel i befestigt, bis über die zu füllenden Flaschen hinuntergeht und drehbar ist.

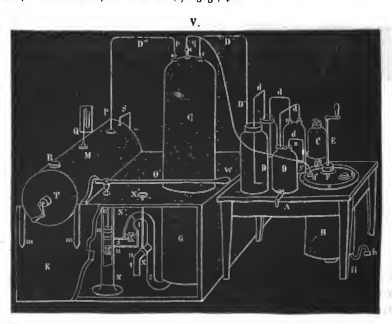
Die Welle der in dem Condensator sich befindenden Rührvorrichtung m hat innerhalb des Condensators ihr Zapfenlager in v (Fig. II. und III.); auf der anderen Seite tritt sie durch die Büchse B aus dem Condensator heraus. Um hier einen luftdichten Verschluß zu erlangen, geht sie durch eine Stopfbüchse, in der gegen sie, durch die Schraube w (Fig. II. u. III.) befestigt, ein umgefalzter Lederring drückt. Der andere Zapfen dieser Welle geht in einem Lager, das sich an dem gußeisernen Gestelle der Maschine befindet. — Diese Welle trägt ein Sternrad y, in das die Zähne eines anderen (Fig. II.) eingreifen, welche sich an der verlängerten Axe des Schwungrades befindet, so daß also durch Drehen des letzteren nicht nur die Pumpe, sondern durch Vermittelung der Räder y und r auch die Rührvorrichtung in dem Ballon in Bewegung gesetzt und dadurch die Absorption der Kohlensäure begünstigt wird.

Die Verbindung des Speiserohres e mit dem Condensator wird aus Fig. III. und IV. ersichtlich. Die sämmtlichen einzelnen Theile der Maschine befinden sich auf einem gußeisernen Gestelle, das aus zwei gleichen Theilen (Fig. I.) besteht, die durch die Riegel v vermittelst Schrauben vereinigt werden. Die vier schiefen Säulen a' stehen jede auf einem Fuß, der mit zwei Schrauben versehen ist, um die ganze Maschine damit an ihrem Standpunkte zu befestigen.

Sind das Gasometer mit Kohlensäure und das Gefäß C mit der entsprechenden Salzlösung gefüllt und der Hahn i, der sich an dem vom Gasometer zur Pumpe führenden Rohre h befindet, geöffnet, so setzt man die Pumpe durch Drehen des Schwungrades in Bewegung und füllt zunächst den Condensator mit Kohlensäure, die man wieder entweichen läßt, so lange bis keine Luft mehr in dem Condensator enthalten ist. Dann muß durch Probiren gefunden werden, welche Stellung man den Hähnen i zu geben habe, damit Wasser und Kohlensäure in dem richtigen Verhältniß in den Condensator gelangen, d. h. daß derselbe zu etwa zwei Drittheilen mit Wasser erhalten werde, welches darin unter einem Drucke von 5 bis 6 Atmosphären mit Kohlensäure gesättigt werden muß. — Die Drehung des Schwungrades bewerkstelligt man am besten durch eine Dampfmaschine.

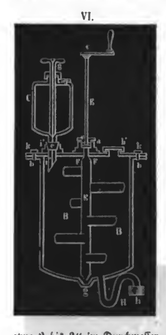
Bei der Fabrikation derjenigen künstlichen Mineralwasser, die ausschließlich zum medicinischen Gebrauch dienen und bei denen eine große Genauigkeit erforderlich ist, wendet man in der Regel einen anderen Apparat an, der in neuerer Zeit, namentlich durch Mackensen und Vollstorf bedeutend verbessert worden ist. Fig. V. giebt uns eine Totalansicht des Apparates. Die Haupttheile, aus denen er besteht, sind ein Kohlensäure-Entwickler, ein Gasometer, eine Pumpe zum Comprimiren des Gases und das Mischungsgefäß.

V.



Der Kohlensäure-Entwickelungsapparat B (Fig. V.) besteht aus dem Kohlensäuregenerator und den Waschgefäßen, welche zusammen von dem Tische A getragen werden, in welchem sich ein rundes Loch befindet, durch welches der Körper des Kohlensäuregenerators B hindurchgesenkt wird. Letzterer, den Fig. VI. im Durchschnitt zeigt, besteht zunächst aus zwei Stücken: dem eigentlichen Körper B, der ein etwa $1^1/_2$' bis 2' langer und ungefähr $^3/_4$' bis 1' im Durchmesser haltender Cylinder von starkem Kupferblech oder Gußeisen ist, innen noch mit einem Cylinder von Blei gefüttert, und dem Deckel F, der darauf geschraubt wird. Der Körper B hat oben einen breiten starken Rand b, womit er auf der Platte des Tisches aufhängt und worauf der Deckel durch starke Schrauben KK und vermittelst eines auf beiden Seiten mit Kitt aus Mennige und Leinölfirniß bestrichenen Bleiringes luftdicht befestigt wird. In der Mitte des Gefäßes B befindet sich eine Rührvorrichtung (Fig. VI.), das in g auf dem Boden des Generators steht und dessen Stiel E durch eine in der Mitte des Deckels befindliche Stopfbüchse hindurchgeht; die Bewegung wird durch die Kurbel c bewerkstelligt. Im Boden hat der Körper B ein Loch von einigen Zollen Durchmesser, in welches das an B angelöthete eben so weite Sförmig gebogene Rohr H mündet. Dieses Rohr dient zum Ablassen des Inhaltes nach der Beendigung der Operation und ist durch eine messingene Kapsel h verschlossen.

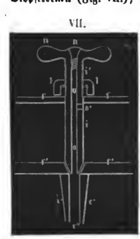
VI.



Der Deckel F, ebenfalls aus starkem Kupfer oder Gußeisen, ist mit 4 Oeffnungen (Fig. V. und VI.) b', c', d' und e' versehen. Auf drei derselben sind messingene Büchsen gelöthet. b', etwa 2 bis 3'' im Durchmesser, dient zum Einbringen von Magnesit und Wasser; sie wird durch eine auf die Messingbüchse geschraubte Metallkapsel, die mit einem Polster von vulkanisirtem Kautschuk versehen ist, welches fest gegen die Ränder der Messingbüchse drückt, verschlossen. e' ist eine gewöhnliche Stopfbüchse und hier ist der luftdichte Verschluß durch Liderung von Hanf und Leder bewerkstelligt. c' dient zur Aufnahme des Säurebehälters C; dieser ist ein cylindrisches Bleigefäß (Fig. VI.), im Lichten etwa 4'' im Durchmesser haltend und ungefähr 6'' hoch. Sowohl der obere, wie auch der untere Boden gehen in ihrer Mitte in röhrenförmige Ansätze über, von denen der obere etwa $1^1/_2$'' im Durchmesser haltend und $1^1/_2$ bis 2'' hoch und außen mit einem Schraubengewinde versehen, die Stelle einer Büchse vertritt. Die Oeffnung g dient zum Eingießen der Säure. Der untere Boden ist in seiner Mitte durch eine conische Oeffnung durchbrochen, die in einen röhrenförmigen Fortsatz mündet; bei c befindet sich an dieser starken Bleiröhre eine Verdickung von conischer Form und über dieser, auf die Röhre c'' geschoben, eine Schraubenmutter, die auf die Büchse des Deckels paßt. Das Lumen dieser auf dem Deckel befindlichen Büchse ist ebenfalls conisch ausgedreht und zwar so, daß die conische

Verbindung c genau hineinpaßt. Dadurch wird beim festen Anziehen der Schraubenmutter das ganze Gefäß C luftdicht auf dem Deckel befestigt. Jene Röhre dient zum Abfließen der Säure. Um aber eine zu stürmische Entwickelung des Gases zu verhüten oder die Entwickelung zu jeder Zeit zu unterbrechen, dient ein Stöpselventil (Fig. VII.), das zu oberst von Messing, zu unterst von Blei mit Kupfer umschlossen, genau in die conische Oeffnung des unteren Bodens paßt, oben aber gleichfalls durch den Boden geht. Nicht weit unterhalb des oberen Bodens f ist durch den Bleicylinder von der Seite eine Durchbohrung o geführt, die bis durch das Kupferrohr geht, so daß, wenn das Ventil und die Röhre o durch die Schraube n, welche gleichzeitig die Handhabe befestigt, oben geschlossen worden ist, eine Communication und Gleichstellung des Druckes in dem Generator B und dem Gefäß C durch die Röhren o und o' hergestellt ist. Durch dicke Lederscheiben und Aufschrauben der Kapsel l wird hier ein luftdichter Verschluß hergestellt. Durch Drehen des Stöpsels mittelst n kann er gehoben und gesenkt und dadurch der Zufluß der Säure regulirt oder unterbrochen werden.

VII.



Die vierte Oeffnung d' (Fig. V.) geht in ein dem Deckel aufgelöthetes Rohr aus, das sich in zwei Arme theilt, deren jeder einen Hahn trägt. Von diesen Armen tritt der eine d durch den Deckel des ersten Waschgefäßes ein und geht bis auf den Boden desselben, der andere aber D' führt direct nach dem Gasometer G und mündet oben in dieses durch einen Hahn ein. D D sind Waschgefäße entweder von starkem Kupfer oder Glas, die durch kupferne Röhren d d d mit einander verbunden sind. Aus dem letzten dieser Waschgefäße tritt die reine Kohlensäure durch das Rohr D'', das an seinem Ende mit dem Hahn r in den oberen Theil des Gasometers mündet, in diesen.

Den zweiten Theil des Apparates bilden das Gasometer mit der Pumpe. Beide befinden sich mit dem Mischungsgefäße in einem Kasten K, aus dicken eichenen Brettern zusammengefügt, inwendig entweder mit Zinkblech oder verzinntem Kupferblech ausgeschlagen. Auf dem Boden dieses Kastens, der beim Gebrauch bis zu $^{3}/_{4}$ seiner Höhe mit Wasser gefüllt ist, steht das Gasometer G und ist hier durch einige auf dem Boden befestigte Klötze eingeklemmt. Aufrecht wird es durch den Deckel des Kastens gehalten, durch den es hindurch geht. Das Gasometer ist aus starkem verzinnten Kupferblech angefertigt, ungefähr 6' lang und 1 bis $1^{1}/_{2}$' im Durchmesser. W ist ein Glasrohr, durch welches der Wasserstand angezeigt wird. Durch die Hähne p, q und r münden die drei Röhren D', D'' und D'''. Durch D'' tritt die Kohlensäure während der Entwickelung ein. D' führt direct nach dem Kohlensäuregenerator und hat den Zweck, nach Schließung der Hähne p, r und z das im oberen Theile von G condensirte Gas nach B zu leiten, um durch den Druck desselben die in B befindliche Flüssigkeit durch das Rohr H abzulassen. Durch D''' gelangt das comprimirte Gas in das Mischungsgefäß H.

Im Boden des Gasometers G befindet sich ein Loch mit einer messingenen

Fassung, in welches das von der Pumpe kommende weite Rohr t eingeschraubt wird. — Die mit dem Gasometer in Verbindung stehende Pumpe besteht aus dem messingenen oder kupfernen Pumpenstiefel N, der unten im Boden des Kastens und oben in einer Durchbrechung des Deckels befestigt ist. Von unten tritt durch den den Fuß des Stiefels umgebenden Siebboden das Wasser in den tieferen Theil des Stiefels. Der letztere besteht aus zwei Theilen, dem unteren N mit dem Ventil u, von welchem ein Rohr S, welches ein Ventil trägt, abgeht, und dem oberen N', der unmittelbar über der Mündung von S in N, bei u auf den unteren Theil befestigt wird. In dem Stiefel N bewegt sich der vermittelst der Kolbenstange befestigte Kolben. Dieser ist massiv und sein luftdichtes Schließen beim Auf- und Niedergehen durch Manchetten von Leder bewirkt. Unmittelbar über dem in S befindlichen Ventile v wird das Rohr t durch eine Flaschen-Verbindung auf dem Rohr S befestigt; durch Zwischenlegung einer Blei-, Leder- oder Kautschuk-Scheibe und mit Hülfe eines Kitts aus Leinölfirniß und Mennige wird der luftdichte Verschluß hergestellt. Von dem Rohr t, welches das Gasometer und die Pumpe mit einander verbindet, geht ein kurzes, nach unten gebogenes Rohr ab, das den Hahn x trägt, der vermittelst des durch den Kasten gehenden Schlüssels x' geöffnet und geschlossen werden kann. Dieser Hahn wird geschlossen, sobald Wasser in das Gasometer gepumpt werden soll, und geöffnet, sobald das im oberen Theile des Gasometers condensirte Gas verbraucht ist und eine neue Entwickelung beginnt. Das frisch zuströmende Gas verdrängt das Wasser im Gasometer und dieses strömt durch das kurze Rohr aus.

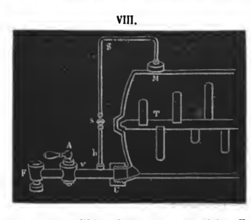
Beim Heben des Kolbens tritt durch das Ventil u, welches sich, so wie v, von unten nach oben öffnet, durch die in dem Fuße des Stiefels befindlichen Oeffnungen Wasser in den Stiefel, das beim Niedergange des Kolbens das Ventil u schließt, dagegen das höher liegende v hebt und dann in das Rohr t und durch dieses von unten in das Gasometer gepumpt wird. Ist das Gasometer mit Kohlensäure gefüllt, so wird diese in dem oberen Theile des Gasometers durch das beim Pumpen mit Gewalt durch t von unten eindringende Wasser auf ein viel geringeres und dichteres Volumen zusammengepreßt. Kennt man den Rauminhalt des Gasbehälters und ist das Wasserstandsrohr graduirt, so kann man hieraus die Menge der Kohlensäure und die Stärke des Druckes, unter dem sie sich befindet, bestimmen. Da bei diesem Apparate die aus dem letzten Waschgefäße, oben bei r, in das Gasometer eintretende reine Kohlensäure vor ihrer Verwendung mit keinem anderen Körper in Berührung tritt, so ist er dem Bramah'schen vorzuziehen, weil hier sowohl die Kohlensäure, wie auch das Wasser unmittelbar vor ihrer Verwendung noch die Ventile und den Pumpenstiefel zu passiren haben und dadurch leicht wieder Geschmack und Geruch annehmen können.

Das Mischungsgefäß M ist ein dem Gasometer ganz ähnlicher Cylinder, der mit seinen beiden Enden in halbkreisförmigen Ausschnitten zweier Kastenwände liegt und durch eiserne Bänder m, an dem Kasten durch Schrauben befestigt, in seiner Lage gehalten wird. Es ist so groß, daß es von 150 bis 200 Pfd. Wasser etwa bis zu $^3/_4$ gefüllt ist. Mitten durch den Cylinder geht der Länge nach eine Rührvorrichtung von stark verzinntem Kupfer. Sie tritt durch die Stopfbüchse T aus dem Cylinder heraus und ist hier mit einer Kurbel zum Drehen versehen. Oben auf dem Cylinder befinden sich 4 Oeffnungen, auf die messingene Hülsen in M gelöthet sind. Die eine, R, dient zum Einbringen der Flüssigkeiten und wird

durch Aufschrauben einer Kapsel von Messing, die innen mit einem Polster von Kautschuk versehen ist, luftdicht verschlossen. In die zweite ist ein Manometer Q eingeschraubt; die dritte trägt den Hahn P, in den das vom Gasometer kommende Speiserohr D''' tritt. Die vierte Oeffnung nimmt das Ende eines dünnen Kupferrohrs S auf, das, von dem Entleerungshahn ausgehend, dazu dient, einestheils der in den zu füllenden Flaschen enthaltenen Kohlensäure einen Ausweg zu bieten, anderntheils das ausgeflossene Wasser in den Flaschen sogleich wieder unter denselben Druck zu bringen, unter welchem es im Mischungsgefäß sich befand, weil sonst beim Abziehen des Wassers so lange Kohlensäure daraus entweichen würde, bis der Druck derselben in dem oberen Theile der Flasche dem in M gleich wäre. — Dieses Rohr mit dem Entleerungsrohr und Hahn zeigt Fig. VIII. im Durchschnitt.

M (Fig. VIII.) ist das in Fig. V. nach hinten gekehrte, nicht sichtbare Ende des Mischungsgefäßes. Es besitzt an dem tiefsten Punkte noch eine Oeffnung, auf die an den Cylinder eine mit Schraubengewinden versehene Büchse U angelöthet ist. Das Innere derselben ist conisch ausgedreht und zwar so, daß die conische Oeffnung sich von außen nach innen verjüngt. In diese Büchse paßt genau das in einen Conus ausgehende Ende des Ablaßrohrs V, mit dem doppelt durchbohrten Hahn A, und welches mit der Zupfropfmaschine (Fig. X.) ein Stück ausmacht. Die beiden Durchbohrungen des Hahnes A (Fig. IX.) entsprechen genau den beiden Conilen des Rohres V (Fig. XII.), so daß durch Oeffnen und Schließen des Hahnes gleichzeitig auch a und b geöffnet oder geschlossen werden. Der kleine Hahn s an dem Rohre S wird nur beim Abziehen des fertigen Wassers auf Flaschen geöffnet. Dadurch ist dann die Verbindung des Inneren der Flasche mit dem oberen Theile des Mischungsgefäßes, der die unter einem Druck von mehreren Atmosphären zusammengepreßte Kohlensäure enthält, vermittelst der Röhren b und S bewerkstelligt, so daß in demselben Augenblick, wo der Hahn A geöffnet wird, in der Flasche derselbe oder doch sehr nahezu derselbe Druck auf das durch a ausfließende Wasser wirkt, wie der, unter dem es sich in M befand, so daß also aus ihm keine Kohlensäure entweichen kann.

VIII.



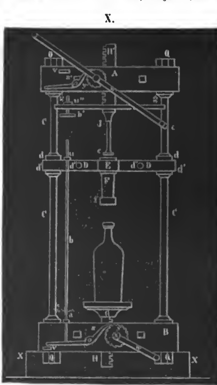
IX.

Vor dem Füllen werden die gut gereinigten Flaschen sämmtlich mit Kohlensäure gefüllt. Diese nicht verdichtete Kohlensäure mischt sich mit der dichteren, die den nicht mit Wasser erfüllten Raum in M einnimmt. Dadurch tritt eine Verminderung des Druckes überhaupt, der auf dem Wasser in der Flasche ruht, ein im Verhältniß zu dem Druck, der in M auf das Wasser wirkte, bevor der Hahn A geöffnet wurde. Damit in Folge dieses Unterschiedes kein Gas entweichen kann,

erhöht man den Druck, unter dem das Wasser steht, nachdem es mit Kohlensäure gesättigt ist, noch um ein oder anderthalb Atmosphären. Es geschieht dies dadurch, daß man noch weiter Kohlensäure nach M pumpt. Damit dieser Ueberschuß von Kohlensäure von dem Wasser nicht absorbirt werde, unterläßt man die Bewegung der Rührvorrichtung. Sollte sich während des Abziehens des Wassers wegen der Ausdehnung des Gases der Druck, unter dem das Wasser steht, zu sehr vermindern, so muß zeitweise immer wieder neue Kohlensäure nachgepumpt werden.

Wir hätten nun noch die Zupfropfmaschine zu beschreiben, die durch Fig. X. verdeutlicht wird. A und B sind zwei starke hölzerne Riegel, die mit einander durch die eisernen Säulen CC vermittelst der Schrauben Q fest verbunden sind. Durch jeden dieser Riegel geht eine eiserne Axe X und X', die vermittelst der Kurbeln w und w' gedreht werden können. Da zu dem Hindurchtreiben des Korkes durch F eine nicht unbedeutende Kraft erforderlich ist, so ist die Kurbel w' ziemlich lang und am Ende mit einer Metallkugel versehen, damit sie in der Wirkung einem Schwungrade gleiche. An jeder dieser Axen befinden sich zwei gezahnte Räder, von denen das eine in einer Höhlung des Riegels sich befindet, das andere außerhalb des Riegels angebracht ist. Die Zähne des in dem letzteren sich drehenden Rades greifen in zwei gezähnte eiserne Stangen H und H', wodurch diese gehoben oder gesenkt werden können, wie dies Fig. XI. näher verdeutlicht. In die Zähne der Räder y und y' (Fig. X.) greifen die Enden der Sperrkegel z und z' ein, welche durch die Federn v und v' gegen die Räder gedrückt, ein Zurückgehen derselben verhindern. H trägt einen Teller T, auf den die zu füllende Flasche gestellt und dann fest gegen den in f an dem Theile F sich befindenden Kautschuk-Wulst gedrückt wird. H' trägt nahe am Ende einen eisernen Riegel, der die Säulen CC bei gg zur Hälfte umfaßt und dazu dient, die Stange H' beim Auf- und Abwinden perpendiculär zu führen. Der stählerne Stempel J mit seinem Knopf e vertieft sich beim Hinabwinden der Stange in den conischen Messingcylinder F und dient dazu, den Kork in die Flaschenöffnung einzutreiben. Ist dies geschehen, so löst sich durch eine einfache Vorrich-

X.

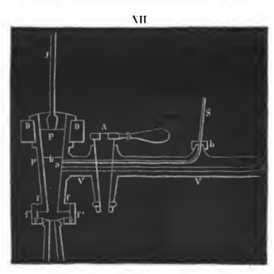


tung der Sperrkegel in dem Rade y und der Teller mit der Flasche bewegt sich abwärts. F ist mit dem Abflußrohr des Mischungsgefäßes M (Fig. VIII.) verbunden, und durch die gußeisernen Theile DD, die durch Schrauben zusammengehalten werden, bei E eingeklemmt. Dieser Riegel umfaßt die Säulen bei d und wird durch die an denselben befindlichen Capitäler dd' und dd' festgehalten. a, u' und u'' sind angeschraubte, kleine, durchbohrte, eiserne Plättchen. Durch a und u' geht eine Eisenstange b, die auf dem Hebelarm des unteren Sperrkegels steht, unter den die Feder v drückt. In u'' befindet sich eine Schraube mit einem Knopfe, der beim Niedergange gerade auf die Eisenstange trifft; diese drückt durch den Hebelarm des Sperrkegels die diesen gegen y pressende Feder nieder; der Sperrkegel springt aus und der Teller mit der Flasche sinkt herab.

XI.

Das Stück F der Maschine mit dem Abflußrohr V und dem Ablaßhahn A, so wie dem unteren Ende des Gasrohres S zeigt Fig. XII. im Durchschnitt. Der innere conische Raum von F ist genau ausgedreht und polirt; in ihn münden die Röhren VV, durch welche das Wasser ausfließt und die Gasröhre C, durch welche

XII



in der Flasche derselbe Druck, wie im Mischungsgefäße hergestellt wird. Beim Füllen der Flaschen wird ein vorher durch Wasserdämpfe erweichter Kork P von oben in F gebracht und dann durch den Stempel J so weit eingepreßt, daß sein unteres Ende genau über der Mündung des Gasrohres b sich befindet. Dadurch ist F nach oben hin luftdicht verschlossen. Oeffnet man nun den Hahn A, so fließt das Wasser ruhig und ohne den geringsten Verlust an Kohlensäure in die Flasche, sobald das Gas längere Zeit, z. B. 12 Stunden mit dem Wasser in Berührung gewesen ist, wodurch eine innigere Vereinigung der Kohlensäure mit dem

Wasser stattgefunden hat. Ist diese gefüllt, so wird der Hahn geschlossen und der Kork P nun in die Mündung der Flasche gepreßt, wo er sich augenblicklich wieder ausdehnt und diese luftdicht verschließt. Auf die Auswahl der Korke muß große Sorgfalt verwendet werden. Die gefüllten Flaschen gehen sofort in die Hände eines anderen Arbeiters über, der den Kork mit einer Schlinge von Zinndraht oder Bindfaden, die an dem Halse der Flasche befestigt wird, überzieht, um dadurch ein Wiederhinaustreiben der Korke zu verhindern. Sollen die Flaschen versendet werden, so verpicht man sie oder ersetzt auch die Verpichung durch eine zinnerne Callotte.

Da das Mischungsgefäß hier nur klein ist und daher die Operationen öfter wiederholt werden müssen, so wird mit diesem Apparat nicht so viel geschafft wie mit dem von Bramah. Sobald aber zwei Arbeiter dabei thätig sind, können doch täglich bis zu 700 Flaschen gefüllt werden. Hierbei ist ein Zerspringen der Flaschen nicht selten. Um die Arbeiter vor Gefahr zu schützen, werden entweder die Flaschen mit einer Vorrichtung umgeben, welche die umhergeschleuderten Glassplitter abhält, ohne bei der Arbeit im Wege zu sein, oder die Arbeiter sind an den Händen und im Gesicht mit dicken Handschuhen und Drahtmasken bekleidet.

Sind die Flaschen gut verkorkt und werden sie liegend aufbewahrt, wo der Kork durch die beständige Berührung mit dem Wasser sich so ausdehnt, daß keine Spur von Kohlensäure entweicht, so halten sich die künstlichen Mineralwasser jahrelang, ohne sich zu zersetzen oder einen Bodensatz abzulagern. Anders aber ist es bei dem Gebrauch, sobald der Kork gelüftet wird. Das Entweichen von Kohlensäure und die Einwirkung der atmosphärischen Luft rufen dann sehr bald Veränderungen hervor. Dasselbe findet aber auch bei den natürlichen Mineralwassern statt, die in Flaschen versendet werden. Hier wie dort ist eben nur das erste Glas gleichwerthig mit dem an der Quelle getrunkenen.

Um diesem Uebelstande abzuhelfen, hat man mit den Fabriken, in denen die künstlichen Mineralwasser angefertigt werden, die sogenannten Trinkanstalten verbunden, deren Aufgabe es ist, dem Trinkgast, der an den künstlichen Quellen Hülfe sucht, jeden Becher in demselben heilkräftigen Zustande zu überliefern wie an der Quelle. Für jede Quelle findet sich hier ein oder je nach dem Bedarf mehrere Zinncylinder aufgestellt, in denen das Mineralwasser fortdauernd genau unter demselben Druck und gegen das Eindringen der Luft geschützt erhalten wird, so daß der letzte Becher genau wie der erste in gleicher Beschaffenheit aus der künstlichen Quelle fließen. Die warmen Mineralwasser werden genau auf der Temperatur der natürlichen Quellen gehalten, da bei manchen Mineralwassern, wie namentlich bei den einzelnen Quellen von Karlsbad, einzig nur in dem Temperaturunterschied die verschiedene Wirkung bedingt ist.

Es ist nicht zu leugnen, daß die künstlichen Mineralwasser unendlich vielen Leidenden, denen es nicht vergönnt war, die Quellen selbst zu besuchen, Hülfe gewährt haben. Durch sie ist die Kenntniß der Mineralwasser und ihrer Wirkungen ungemein verbreitet und ein weit größeres Gemeingut geworden. Aus diesem Grunde sind auch die natürlichen Quellen nicht, wie man es anfangs befürchtete, benachtheiligt worden. Im Gegentheil ist mit dem wachsenden Verbrauch der künstlichen Mineralwasser auch die Frequenz der Bäder Hand in Hand gegangen.

Gleich bei den ersten Versuchen, die Struve anstellte, sprach Kreyssig

die Hoffnung aus, es dürfte nicht unwahrscheinlich sein, daß die Chemie im Stande sein werde, selbst wirksamere Mineralwasser zu bereiten, als die Natur selbst. Auch dies hat sich im Laufe der Zeit bestätigt. Nicht allein daß hierdurch die in vielen Quellen vorkommenden Schwankungen, die nothwendig von entschiedenem Einfluß auf deren Wirkung sein müssen, ausgeglichen und auf feste Werthe zurückgeführt sind, sondern es sind auch wirklich heilkräftige Mineralwasser hergestellt, die in der Natur gar nicht vorkommen. Unter diesen erfreuen sich z. B. das kohlensaure Bitterwasser, das kohlensaure Magnesiawasser, die Natrokrene und das Eisenwasser bereits eines ausgebreiteten Rufes und Verbrauchs. Man hat auch angefangen durch die Schwängerung mit Kohlensäure verschiedene Salzsoolen trinkbarer zu machen.

In neuerer Zeit hat man dasselbe Princip auch auf diejenigen Quellen übertragen, die zum Baden verwendet werden. Dadurch, daß man dieselben eindampft und den festen Rückstand in den Handel bringt, hat man es möglich gemacht, eben so gut die Bäder wie die Trinkquellen gebrauchen zu können, ohne daß man nöthig hat eine kostspielige Reise anzutreten. Wahrscheinlich wird sich auch bald künstliches Seewasser als Handelsartikel geltend machen, sobald nur die artige Spielerei „der Ocean auf dem Tisch" bei uns mehr Verbreitung gefunden haben wird.

Die mit Kohlensäure reich beladenen Luxuswasser sind ein großer Liebling des Publikums geworden. Der große Beifall, den sie gefunden, hat zuerst in Frankreich Veranlassung gegeben, kleine transportable Apparate für Haushaltungen zur eigenen Darstellung moussirender Getränke jeder Art anzufertigen, die auch bei uns bereits große Verbreitung gefunden haben.

Der erste Apparat dieser Art war der sogenannte Liebig'sche Krug, dem ein glücklicher Zufall als Empfehlungsbrief diente. Der Name nämlich verleitete einen Jeden, diesen Krug für eine Erfindung des großen Chemikers zu halten, während dieser nichts damit gemein hatte. Der Krug wurde zuerst in Darmstadt nach französischem Muster angefertigt und zwar vereinfacht und dadurch leichter zu handhaben.

Dieser Apparat (Fig. XIII.) ist eine starke aus Steingut geformte Flasche, deren Inneres, wie dies Fig. XIV. im Durchschnitt zeigt, durch den doppelten Boden A in zwei Abtheilungen B und C' getheilt ist, von denen die letztere etwa $1^1/_4$ bis $2^1/_2$ Quart preuß. faßt, ohne ganz davon erfüllt zu sein, während die untere etwa nur $^1/_4$ bis $^1/_2$ Pfund Wasser aufnimmt.

B ist hier der Kohlensäuregenerator; er wird gefüllt durch die Oeffnung b und diese dann durch den Zinnpfropfen (Fig. XV.) verschlossen, der durch eine Bajonettschloß-Einrichtung befestigt wird. In den Körper des Stopfers A ist ein Falz vertieft, worin ein Ring von vulcanisirtem Kautschuk G liegt. Unter letzterem befindet sich ein zinnerner Reif B, der sich auf dem viereckigen Theile A' des Zinnkörpers rück- und vorwärts bewegen, aber nicht drehen kann. Derselbe dient einestheils zum Befestigen der ganzen Verschließung, anderentheils als feste Widerlage, gegen welche sich beim Drehen der Schraubenmutter C der Kautschukring G preßt.

Der Boden A (Fig. XIV.) ist bei a durch einige ganz feine Haarröhrchen durchbrochen, welche der in B entwickelten Kohlensäure als Ausweg dienen.

C' nimmt die Flüssigkeit auf, welche mit Kohlensäure gesättigt werden soll. Durch die Haarröhrchen geht nichts von der Flüssigkeit aus C' nach B, weil im unteren Raume der Druck ja größer ist, wie im oberen. Der eigentliche Hals der Flasche C' wird durch eine Vorrichtung (Fig. XVI.) geschlossen, die gleichfalls aus Zinn

XIII.

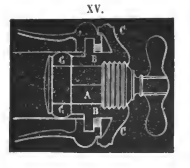


XIV.



angefertigt und dazu bestimmt ist, die mit Kohlensäure imprägnirte Flüssigkeit ausfließen zu lassen. A ist hier ganz analog dem eben beschriebenen Zinnpfropfen und seiner ganzen Länge nach mit einer Durchbohrung versehen. Diese bildet drei weitere Räume a, e und k, die durch zwei engere mit einander in Verbindung stehen. An a ist das zinnerne Rohr F angeschraubt, das bis auf den durchlöcherten Boden A der Flasche Fig. XIV. geht. In a befindet sich eine starke Spiralfeder, die mit F verbunden ist und gegen das Ventil v und dadurch dieses gegen den kleinen röhrenförmigen Fortsatz des in die Urne e führenden Kanals drückt. Auf das obere Ende des Ventilstückes drückt von oben ein an dem Knopfe k befestigtes Stäbchen von Zinn, welches durch eine Lage von Gummischeibchen auf dem Boden von K hindurchgeht. E dient zum Abfließen der Flüssigkeit, sobald man den Knopf K drückt, wodurch das Ventil v abwärts bewegt und der nach E führende Kanal geöffnet wird. Dieser Mechanismus leidet aber bei öfterem Gebrauch sehr bedeutend, wodurch lästige Reparaturen herbeigeführt werden.

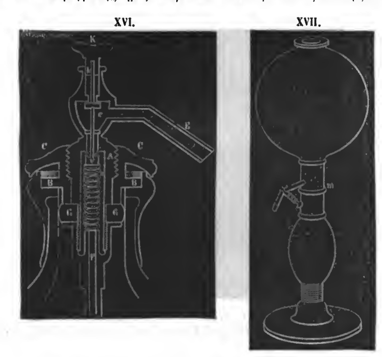
XV.



Ein anderer Apparat dieser Art Fig. XVII. wird besonders von Greßler in Erfurt ver-

breitet. Es sind dies zwei Kugeln aus starkem Glase, die durch einen cylindrischen Hals von Zinn mit einander verbunden sind und von denen die kleinere als Kohlensäuregenerator dient. Der Hals besteht aus zwei Theilen, die bei m durch eine Schraube und Kautschukring luftdicht mit einander verbunden und je an die entsprechende Glaskugel angekittet sind. Der obere Theil ist im Innern durch einen zinnernen Pfropf verschlossen, welcher mit 6 bis 8 feinen Löchern versehen ist.

XVI. XVII.

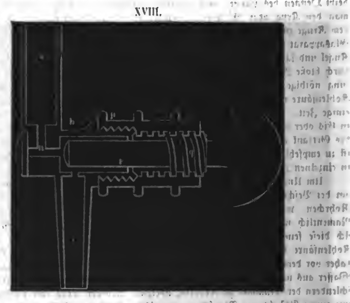


Hier ist auch der Hahn (Fig. XVIII.) angebracht, aus welchem das Wasser ausfließt. Durch a ist der Hahn an dem Halse befestigt. Darin sitzt senkrecht die Röhre b, welche um die Röhrendicke von a verschoben, weiter nach vorne eine andere Abflußröhre c hat. So lange der Canal m frei ist, kann das mit Kohlensäure beladene Wasser ausfließen; drückt man aber den Bolzen n gegen den Canal m, so hört das Ausfließen auf. Dreht man den Bolzen n vermittelst seines Griffes r vorwärts, d. h. in dem Sinne, wie man eine Schraube aufdreht, so hört das Ausfließen auf. Dieser Schluß ist sicherer als ein Ventil, weil man den Bolzen beliebig festdrücken kann. Der Canal m ist mit einem durchbohrten Lederstreifen umgeben, damit der Bolzen n auf einen weichen Körper drücke. Gewöhnlich werden diesem Apparate noch ein kleiner Zinntrichter zum bequemen Einfüllen der Pulver und Füllungen und ein Schraubenschlüssel beigegeben.

Je nach Bedürfniß kann man den Apparat in drei verschiedenen Größen erhalten, zu $1^1/_2$, 3 und 6 Weinflaschen Inhalt. Die Kugeln sind aus weißem,

blauem oder rothem Glase angefertigt. Das Glas ist sehr langsam in dem Verglühofen abgekühlt und daher ohne alle innere Spannung und sehr stark. Der Preis eines solchen Apparates stellt sich auf 4 bis $8^1/_2$ Thlr. Von höchster Feinheit und Eleganz sind die aus Krystallglas angefertigten, die geschmackvoll geschliffen sind. Dieser Apparat ist dem Kruge vorzuziehen, weil man sich einfach durch den Augenschein von dem jedesmal vorhandenen Vorrath überzeugen kann

XVIII.



und hier also nicht, wie bei dem Kruge, in die Verlegenheit geräth, daß die Quelle versiegt, wenn man befreundete Personen durch einen labenden Trank erquicken will.

Zur Erzeugung der Kohlensäure bedient man sich hier des krystallisirten kohlensauren Natrons oder besser des Natronbicarbonat und der Weinsteinsäure. Die letztere wendet man am besten in kleinen Krystallen an, damit nicht die Lösung zu rasch und dadurch eine stürmische Entwickelung der Kohlensäure erfolge. Die Masse der einzubringenden Brausemischung richtet sich nach dem Rauminhalt der Flasche. 16 Gran Kohlensäure genügen, um 1 Pfd. Wasser unter dem gewöhnlichen Druck mit Kohlensäure zu sättigen, also 32 Gran für 2 Atmosphären ꝛc. Weiter als bis 4 Atmosphären zu gehen ist nicht rathsam, weil dann leicht die Flaschen gesprengt werden. Um ein Pfund Wasser unter einem Druck von 4 Atmosphären Gas zu sättigen, sind 464 Gran krystallisirtes kohlensaures Natron oder 130 Gran doppelt kohlensaures Natron und 217 Gran Weinsteinsäure erforderlich. Es bilden sich hierbei 165 Gran weinsteinsaures Natron, welche noch nicht 2 Unzen Wasser zur völligen Lösung nöthig haben. Statt der letzteren hat man in neuester Zeit saures schwefelsaures Natron oder Kali, die sehr billig sind, empfohlen.

Die Absorption der Kohlensäure kann man durch wiederholtes Schütteln des Apparates befördern. Sobald aber das Wasser mit Kohlensäure gesättigt ist, muß man eine starke Bewegung des Apparates vermeiden, weil dann gerade der entgegengesetzte Erfolg eintritt. Das nicht absorbirte Gas steigt durch die Flüssigkeit hindurch und sammelt sich oberhalb derselben an, so daß von dieser Kohlensäure ein Druck auf die Oberfläche der Flüssigkeit ausgeübt wird, der sie zwingt, beim Oeffnen des Hahnes oder Ventiles auszufließen. Aus diesem Grunde darf man den Krug oder die größere Glaskugel nie ganz voll füllen. Während bei dem Kruge zu der Brausemischung in B Wasser zugesetzt wird, findet dies bei dem Glasapparat nicht statt. Man bringt die Brausemischung trocken in die kleinere Kugel und läßt erst, nachdem beide Kugeln wieder fest zusammengeschoben sind, durch bloße Neigung des Apparates das zur Einleitung der Kohlensäure-Entwickelung nöthige Wasser aus der oberen Kugel einfließen. Soll das Wasser die Kohlensäure nicht gleich beim Ausströmen fahren lassen, so muß man den Apparat einige Zeit, 12 bis 24 Stunden, ruhig an einem kühlen Orte oder besser noch in Eis oder in einer Kältemischung stehen lassen. Ein besonders schön moussirendes Getränk erhält man, wenn man den Apparat mehrere Tage stehen läßt. Ferner ist zu empfehlen, die Flüssigkeit nicht in einem ununterbrochenen Strahle, sondern in einzelnen Zwischenräumen aus dem Apparat abzulassen.

Um Unglück abzuwenden, ist es durchaus nothwendig, daß man sich jedesmal vor der Beschickung des Apparates genau davon überzeugen muß, ob die feinen Röhrchen, welche den Durchgang der Kohlensäure vermitteln, auch offen sind. Namentlich wenn der Apparat in langer Zeit nicht gebraucht worden ist, können sich diese feinen Oeffnungen verstopft haben. Ist dies der Fall, so findet die Kohlensäure keinen Ausweg und zertrümmert dann den Apparat. Man spült daher vor dem jedesmaligen Gebrauch den Apparat recht sorgfältig mit lauwarmem Wasser aus und überzeugt sich genau, ob die Röhrchen offen sind. Um ein Umherschleudern der Trümmer zu verhüten, überzieht man den Krug oder die Glaskugeln mit einem Geflecht von Bindfaden, spanischem Rohr oder Silberdraht.

Für Haushaltungen bietet dieser Apparat namentlich in der wärmeren Jahreszeit große Annehmlichkeiten, da er zur billigen Bereitung mehrerer äußerst wohlschmeckender, erfrischender, moussirender Getränke, wie Limonade gazeuse, Champagner, moussirender Maiwein, Grog, Punsch ꝛc. verwendet werden kann. Besonders gerühmt wird Milch mit Brausewasser versetzt; auch starkes Bier mit Wasser und Zucker angesetzt liefert ein sehr erfrischendes Getränk. Besonders ist dieser Apparat solchen Personen zu empfehlen, denen Bier nicht zuträglich ist.

Man giebt auch an, daß man sich dieser Apparate auch zur Nachbildung der natürlichen Mineralwasser mit vorwaltender Kohlensäure, wie z. B. Emser Krähnchen, Saidschützer-, Püllnaer-, Wildunger-, Pyrmonter-Wasser ꝛc. bedienen könne, aber dazu reichen sie doch wohl nicht aus. In einem kleineren Maßstabe sind sie jedoch sehr zu empfehlen, um Arzneien mit Kohlensäure zu beladen.

Literatur: Duchanoy, Essai d'imiter les eaux min. Paris 1780. Struve, über die Nachbildung der natürlichen Heilquellen. Mit einer Vorrede von Kreyßig. 2 Hefte. Dresden 1824 und 1826. Savaresse, Notice sur la fabrication des eaux minerales gazeuses factices. 3. édit. Paris 1848. Die Struve'schen Mineralwasseranstalten. 2. Aufl. Leipzig 1853. W. B.

Molecül, Massentheilchen (von mola, Masse), bedeutet bei manchen Naturforschern so viel als Atom. Versteht man jedoch unter den Atomen die einfachsten letzten Bestandtheile der Materie, so ist es schicklicher, mit dem Wort Molecül eine Combination solcher Atome zu bezeichnen. Und in diesem Sinne wird wohl auch das Wort am häufigsten gebraucht. Vergl. Art. Materie Bd. IV. S. 939.

Molybdän, ein Metall. Chemisches Zeichen = Mo. Aequivalent = 574,75 (O = 100) oder 45,975 (H = 1). Es kommt in der Natur nur in geringer Menge vor; am häufigsten ist es mit Schwefel verbunden (Molybdänglanz MoS_2). Dann findet es sich auch als molybdänsaures Bleioxyd (Gelbbleierz PbO, MoO_3) und als Molybdänsäure im Molybdänocker, der theils als Ueberzug auf dem Molybdänglanz, aber auch selbstständig als Mineral vorkommt. Der Molybdänglanz hat große Aehnlichkeit mit dem Graphit und ist daher lange Zeit mit diesem verwechselt worden *). Scheele unterschied zuerst 1778 **) beide und Hjelm ***) stellte zuerst das Metall dar; nach ihm wurde es auch von Buchholz ****) dargestellt und näher studirt. Am ausführlichsten haben sich besonders Berzelius *****) und Svanberg und Struve †) mit diesem Metall und seinen Verbindungen beschäftigt; ferner Berlin ††), Delffs †††), Flückiger ††††) und Zencker †††††).

Man stellt das Metall dar, indem man irgend eine Sauerstoffverbindung desselben entweder durch einen Wasserstoffstrom oder in einem Tiegel durch Kohle reducirt. Im ersteren Falle erhält man ein graues Pulver, das durch den Polirstahl Metallglanz annimmt. Wendet man bei der Reduction durch Kohle eine hinreichend starke Hitze an, so erhält man geschmolzene Massen, die wie mattes Silber aussehen. Letzteres soll nach Wöhler auch der Fall sein †*), wenn man Molybdänsäure in einem Schiffchen im Wasserstoffstrome glüht. Das auf diese Art aus den Chlorverbindungen dargestellte Metall ist nach Wöhler auf der spiegelnden Fläche hell stahlfarben und besitzt eine gewisse Geschmeidigkeit. Auch durch den galvanischen Strom wird das Molybdän aus seinen Sauerstoffverbindungen abgeschieden. — Specif. Gewicht 7,4 bis 8,6. In Pulverform nimmt das Metall leicht Sauerstoff auf; so verändert sich das durch Wasserstoff reducirte Metall mit der Zeit an der Luft in braunes Oxyd, während das Metall in zusammenhängenden Massen bei gewöhnlicher Temperatur unverändert bleibt. Erhitzt man das Molybdän, so läuft es erst bräunlich-gelb, dann blau an; dann ...

*) Daher hat das Molybdän auch seinen Namen erhalten: von μολύβδαινα, der griechischen Benennung des Graphits.

**) Opuscula. Tom. I. p. 200.

***) Crell's chemische Annalen. 1790—94.

****) Scheerer's Journ. d. Chem. 1802. Bd. IX. S. 485. Gehlen's allg. Journ. d. Chem. 1804. Bd. IV. S. 598.

*****) Schweigger's Journ. Bd. XXII. S. 51, Bd. XXIII. S. 186. Pogg. Ann. Bd. IV. S. 153, Bd. VI. S. 331, Bd. VII. S. 261.

†) Journ. f. prakt. Chemie. Bd. XLIV. S. 257. Bull. de St. Petersb. math. phys. T. XII. p. 142. Pharm. Centralbl. 1854. S. 241.

††) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLIX. S. 444.

†††) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 450.

††††) Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 594.

†††††) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 257 u. 486.

†*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 255.

zündet es sich und verbrennt zu Molybdänsäure. Chlorwasserstoffsäure, Fluorwasserstoffsäure und verdünnte Schwefelsäure greifen das Molybdän selbst beim Kochen nicht an; durch Salpetersäure wird es jedoch sehr leicht in Molybdänsäure verwandelt.

Man kennt drei Verbindungen des Molybdäns mit Sauerstoff: das Oxydul MoO, das Oxyd MoO^2 und die Säure MoO^3. Um das Molybdänoxydul zu erhalten, versetzt man die Auflösung eines molybdänsauren Alkalis so lange mit Chlorwasserstoffsäure, bis die anfangs niedergefallene Molybdänsäure sich wieder gelöst hat. Stellt man dann eine Zinkstange in die Flüssigkeit, so färbt sich diese nach und nach blau, rothbraun und zuletzt schwarz. Durch vorsichtiges Zusetzen von Ammoniak, bis die Flüssigkeit farblos erscheint, fällt das Molybdänoxydul nieder. Dasselbe nimmt sehr leicht Sauerstoff aus der Luft auf, daher muß es sehr schnell ausgewaschen und der Berührung mit der Luft entzogen werden. — Molybdänoxyd bleibt zurück, wenn man molybdänsaures Ammoniak unter dem Zutritt der Luft erhitzt oder wenn man molybdänsaures Alkali mit Salmiak glüht und dann die lösliche Chlorverbindung mit Wasser auszieht. Aber wahrscheinlich ist das auf diese Art dargestellte Oxyd mit Stickstoffmolybdän verunreinigt. Es ist ein krystallinisches Pulver von rothbrauner Farbe. Fällt man die Lösung eines Molybdänoxydsalzes oder Molybdänchlorid mit Ammoniak, so fällt Molybdänoxydhydrat nieder, das im äußern Ansehen große Aehnlichkeit mit Eisenoxydhydrat zeigt. Glüht man dasselbe im luftleeren Raum, so erhält man reines Molybdänoxyd.

Das Oxydul und Oxyd bilden mit den Säuren Salze. Die Oxydulsalze sind schwarz oder purpurroth, die Oxydsalze roth, wenn sie Krystallwasser enthalten, und schwarz im wasserfreien Zustande. In den Auflösungen beider Salze entstehen durch Alkalien braune Niederschläge, eben so auf Zusatz von kohlensaurem Alkali, jedoch ist der Niederschlag in einem Ueberschuß von kohlensaurem Ammoniak wieder löslich. Schwefelwasserstoff bewirkt einen schwarzen Niederschlag und eben so Schwefelammonium; ein Ueberschluß des letzteren macht den Niederschlag wieder verschwinden.

Die wichtigste Verbindung ist die Molybdänsäure, da sie die Grundlage für die Darstellung aller übrigen Verbindungen ist. Man stellt sie in der Regel dar aus dem Molybdänglanz, der besonders in Schweden und Böhmen im Granit als Begleiter der Zinnerze vorkommt. Die Bereitung der reinen Säure ist wegen der Beimengungen, die in dem Mineral vorkommen, umständlich. Svanberg und Struve geben für die Gewinnung einer reinen Säure folgende Vorschrift. Man röstet unter fortwährendem Umrühren nicht sehr große Menge des fein gepulverten Molybdänglanzes, bis die ganze Masse eine gelbe Farbe angenommen hat. Nach dem Erkalten übergießt man sie in einer Flasche mit Ammoniak. Beim Abdampfen der filtrirten Lösung, der man kohlensaures Kali im Ueberschuß zugesetzt hat, scheidet sich ein Theil der Thonerde ab, die durch Filtriren entfernt wird. Man dampft dann bis zur Trockne ab und behandelt den geglühten Rückstand mit Wasser. Hier bleibt der Rest der Thonerde und das Kupferoxyd ungelöst zurück, während die Lösung neben dem molybdänsauren Kali auch kohlen-, schwefel- und phosphorsaures Kali enthält. Die Lösung wird wieder zur Trockne abgedampft, mit Schwefel vermengt und geglüht, bis kein Schwefel mehr entweicht. Um die aus dem natürlichen Schwefelmolybdän herrührende Phosphorsäure und den über-

schüssigen Schwefel zu entfernen, behandelt man die Masse wiederholt mit heißem Wasser und kohlensaurem Kali, bis Säuren aus dem heiß abfiltrirten Wasser keinen Schwefel mehr niederschlagen oder Schwefelwasserstoff entwickeln. Man hat nun wieder Schwefelmolybdän von rein schwarzer Farbe, das weiter mit heißem salzsäurehaltigem Wasser ausgewaschen und dann durch Salpetersäure oxydirt wird. Aus Böhmen kann man von Franz Holenia's Erben zu Kleiberg ziemlich reine Molybdänsäure käuflich beziehen.

Für technische Zwecke bereitet man die Molybdänsäure nach Christl *) auf folgende Weise: Man schmilzt gleiche Theile feingepulvertes Gelbbleierz und calcinirte Soda. Aus der geschmolzenen Masse zieht man das molybdänsaure Natron mit heißem Wasser aus und kocht die Lösung mit überschüssiger Salzsäure, bis sich die Molybdänsäure als schön hellgelber Niederschlag ausgeschieden hat. Die Ausbeute beträgt ungefähr den dritten Theil des Gewichtes vom angewandten Erz. Karrer **) schlägt vor diese Säure in der Färberei und Zeugdruckerei zu verwenden. Seide mit molybdänsaurem Ammoniak imprägnirt, nach dem Trocknen in einem salzsauren Bade durchgenommen und dann unmittelbar in ein Zinnchlorürbad gebracht, wurde intensiv dunkelblau gefärbt. Durch Verdünnen des molybdänsauren Ammoniaks mit Flußwasser konnten die verschiedenen helleren Töne bis herab zu einem schönen bläulich Hellaschgrau und Perlgrau hergestellt werden. Alle diese Töne erscheinen dem Auge sehr gefällig und dürften bald sehr beliebt werden, zumal sie sich durch eine außerordentliche Dauerhaftigkeit gegen Luft und Licht auszeichnen. Die Molybdänfarben verdienen daher in der Seidenfärberei die größte Beachtung und werden sich hoffentlich bald allgemeiner Anerkennung zu erfreuen haben. Beschränkter ist ihre Verwendung beim Färben baumwollener Gewebe; noch geringer ist die Verwandtschaft der Molybdänfarben zur Flachsfaser.

Merkwürdig ist das Verhalten der Molybdänsäure zu Phosphorsäure. Nach Svanberg und Struve scheint erstere durch letztere in eine andere Modification übergeführt zu werden. In der Wärme färbt sich eine Lösung der Molybdänsäure bei Gegenwart von Phosphorsäure citronengelb. In Folge dieser Eigenschaft bietet sich uns in der Molybdänsäure ein sehr empfindliches Reagens auf Phosphorsäure, mit dessen Hülfe es gelungen ist, in den verschiedensten Mineralien Phosphorsäure nachzuweisen, wo diese durch die sonst gebräuchlichen Mittel nicht nachgewiesen werden konnte. H. Rose hat ferner darauf hingewiesen, daß sich die Arsensäure ähnlich verhalte. Struve schlägt nun vor ***), dieses Verhalten des molybdänsauren Ammoniaks bei gerichtlich-chemischen Untersuchungen anzuwenden, wo es sich darum handelt, die Gegenwart von Arsen nachzuweisen. Entweder kann man dadurch die durch den Marsh'schen Apparat erhaltenen Flecke als von Arsen herrührende erkennen, oder das Arsen aus den verdächtigen Substanzen leicht als solche Verbindung abscheiden, die nachher in dem Marsh'schen Apparate geprüft werden kann. Durch Arsensäure wird der gelbe Niederschlag schon in der Kälte hervorgerufen. Vermengt man denselben mit Kohle und erhitzt in einem Glasröhrchen, so sublimirt metallisches Arsen; der gelbe Niederschlag

*) Polytechn. Centralbl. 1853. S. 64.
**) Polytechn. Centralbl. 1853. S. 1312.
***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 493.

entsteht beim Erwärmen noch in Lösungen, die $^1/_{30000}$ Arsensäure enthalten. Umgekehrt ist auch die Phosphorsäure ein vortreffliches Reagens auf Molybdänsäure. W. B.

Monat (lat. mensis; franz. mois; engl. month) heißt ursprünglich die Zeit, während welcher der Mond den Wechsel seiner verschiedenen Erscheinungen (Phasen) einmal vollendet, oder — was der Zeit nach ziemlich damit übereinstimmt — einen Umlauf um den ganzen Himmel zurücklegt. Hierbei lag noch keine sorgfältige Zeitbestimmung zu Grunde, sondern selbst eine oberflächliche Beobachtung veranlaßte diese Periode besonders zu bezeichnen. Längere Zeit fortgesetzte genaue Beobachtungen zeigten indessen, daß man durch die verschiedenen Mittel, die Periode des Mondumlaufes zu bestimmen, zu verschiedenen Zeitbestimmungen komme, und dies gab Veranlassung, verschiedene Arten des Monats zu unterscheiden. Keine dieser Zeitbestimmungen läßt sich übrigens mit völliger Genauigkeit geben, oder als eine constante Größe ansehen, weil der Monat jeder Art wegen der Mondungleichheiten (s. Art. Mond) bald etwas länger, bald etwas kürzer ist. Es werden nun folgende Monate unterschieden:

1) Der siderische Monat ist die Zeit, welche vergeht, bis (unter der Voraussetzung, daß die Erde feststeht) der Mond, von einem bestimmten Fixsterne ausgegangen, zu demselben zurückkehrt. Die mittlere Länge ist 27 T. 7 St. 43 Min. 11,5194 Sec.

2) Der periodische oder tropische Monat ist die Umlaufszeit des Mondes von dem Frühlingspunkte bis wieder zu demselben. Wegen des sogenannten Vorrückens der Nachtgleichen (s. Art. Nachtgleichen), welches monatlich ungefähr 4 Sec. beträgt, ist dieser Monat kürzer als der vorige, und seine mittlere Länge = 27 T. 7 St. 48 M. 4,6848 Sec.

3) Der synodische Monat ist die Zeit von einem Neumonde bis zum nächsten, oder von einem Vollmonde bis zum nächsten; die Länge desselben ist mithin von der Stellung des Mondes gegen die Sonne abhängig, und da während eines Mondumlaufes die Sonne selbst (scheinbar) fortgerückt ist, so braucht der Mond über zwei Tage Zeit mehr, als beim siderischen Monate, um zu demselben Stande gegen die Sonne zurückzukehren. Die mittlere Länge des synodischen Monats beträgt 29 T. 12 St. 44 M. 2,7188 Sec. Man kann dieselbe aus dem siderischen Monate berechnen, oder unmittelbar finden, wie es schon in frühen Zeiten geschehen ist, aus zwei weit auseinander liegenden Mondfinsternissen, indem man die zwischen denselben verstrichene Zeit durch die Anzahl der seitdem stattgehabten Mondumläufe dividirt.

4) Der Knotenmonat oder Drachenmonat (s. Art. Knoten) oder draconitische Monat ist die Zeit, welche vergeht, bis der Mond wieder zu seinem aufsteigenden Knoten zurückkehrt. Da die Mondknoten monatlich ungefähr $1^1/_2{}^\circ$, also schneller als die Nachtgleichen vorrücken, so ist dieser Monat auch kürzer als der tropische und hat nur eine mittlere Länge von 27 T. 5 St. 5 M. 28,90 Sec.

5) Der anomalistische Monat umfaßt die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Stellungen des Mondes in der Erdnähe. Der Mond steht alsdann in der großen Axe seiner Bahn, und da diese keine rück-, sondern eine rechtläufige Bewegung hat, die in einem tropischen Monate über 3° beträgt, so ist derselbe auch länger als dieser und beträgt im Mittel 27 T. 13 St. 21 M. 3,36 Sec.

6) Der **Sonnenmonat** ist der zwölfte Theil des tropischen Sonnenjahres, weil während dieser Zeit ungefähr 12 Mondumläufe stattfinden. Es giebt also der Sonnenmonat die Zeit an, während welcher die Sonne in jedem ihrer 12 Zeichen verweilt, und die Länge desselben ist mithin 30 T. 10 St. 29 M. 3,984 Sec.

Alle diese Bestimmungen der Monatslänge sind Resultate astronomischer Beobachtungen und Berechnungen. Man hat aber im **bürgerlichen** Leben die Sonnenjahre bekanntlich in 12 Monate getheilt, welche ungleiche Länge haben, und unterscheidet demnach von den astronomischen Monaten noch die **bürgerlichen** Monate. Ueber diese Monate ist Art. **Jahr** Bd. IV. S. 1 und Artikel **Kalender** Bd. IV. S. 188 zu vergleichen; hier wollen wir jedoch noch die ächt altdeutschen Namen, welche Carl der Große vorgeschlagen haben soll, anführen: **Wintermond**, **Hornung**, **Lenzmond**, **Ostermond**, **Wonnemond**, **Brachmond**, **Heumond**, **Erntemond**, **Herbstmond**, **Weinmond**, **Winkmond**, **Heilmond**. Die Monate des Kalenders der französischen Republik, welcher vom 22. Septbr. 1792 bis zum 9. Septbr. 1805 in Frankreich Geltung hatte, hießen: Vendemiaire (22. Septbr. bis 21. Octbr.), Brumaire (22. Octbr. bis 20. Novbr.), Frimaire (21. Novbr. bis 20. Decbr.), Nivose (21. Decbr. bis 19. Jan.), Pluviose (20. Jan. bis 18. Febr.), Ventose (19. Febr. bis 20. März), Germinal (21. März bis 19. April), Floreal (20. April bis 19. Mai), Prairial (20. Mai bis 18. Juni), Messidor (19. Juni bis 18. Juli), Thermidor (19. Juli bis 17. Aug.), Fructidor (18. Aug. bis 21. Sptbr.). — Bei den **alten Griechen** hießen die Monate: **Gamelion** (— 10. Januar — 8. Februar, der Reihe nach der 7. Monat), **Anthesterion**, **Elaphebolion**, **Munychion**, **Thargelion**, **Skirophorion**, **Hekatombäon**, **Metageitnion**, **Boedromion**, **Pyanepsion**, **Mämakterion** und **Poseideon**. — Die Monate der **Juden**, welche 12 Monate und in Schaltjahren 13 Monate haben, heißen: **Tischri** (fällt zum Theil in den September und October), **Marcheswan**, **Kislaw**, **Tebeth**, **Schwat**, **Adar**, **W'Adar**, **Nisan**, **Ijar**, **Sivan**, **Thamuz**, **Ab**, **Elul**. — Bei den **Türken**, welche ein Mondenjahr haben, heißen die Monate: **Muharrem**, **Safer**, **Rabiulewel**, **Rebinlachir**, **Dschemasinlewel**, **Dschemasinlachir**, **Redscheb**, **Schaban**, **Ramasan**, **Schewal**, **Silkide**, **Silhidsche**; die Monate haben abwechselnd 30 und 29 Tage, der letzte im Schaltjahre aber ebenfalls 30. In dem 30jährigen Cyklus, welchen die Türken haben, sind nämlich folgende Jahre stets Schaltjahre: 2, 5, 7, 10, 13, 15, 18, 21, 24, 26 und 29.

Endlich sind noch zu erwähnen die **Erleuchtungsmonate**, welche von der ersten Wiedererscheinung des Mondes nach dem Neumonde bis zur nächstfolgenden Wiedererscheinung gerechnet werden. H. E.

Mond (lat. luna; franz. lune; engl. moon) heißt der Weltkörper, welcher die Erde, während sie ihren Lauf um die Sonne verfolgt, begleitet. Betrachtet man die Erde als feststehend, so ist die Bahn des Mondes um dieselbe eine Ellipse, in deren einem Brennpunkte die Erde steht. Die halbe große Axe dieser Ellipse oder die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde beträgt, da für einen Beobachter im Aequator die Horizontalparallaxe (s. d. Art. **Parallaxe**) in der mittleren Entfernung 57′ 34″,2 (— sie schwankt zwischen 54 und 61 Minuten —)

ist, 51315 geogr. Meilen, zu 859,3 auf den Halbmesser des Aequators gerechnet, und die Excentricität derselben 0,054844 der halben großen Axe oder 2814,3 geogr. Meilen. Da die Erde aber nicht still steht, sondern den Mond auf ihrer Reise um die Sonne mit sich zieht, so entsteht durch diese doppelte Bewegung als Bahn des Mondes um die Sonne eine große Spiral- oder Schlangenlinie, die ungefähr in der Mitte ihrer Windungen von der Erdbahn geschnitten wird. Man kann diese Mondbahn mit einer in 12 bis 13 Knoten zusammengeschlungenen Schnur vergleichen, deren Knoten aber, weil sie mit der jährlichen Schnur kein gemeinschaftliches Maß haben, selbst nach vielen tausend Jahren nicht wieder auf dieselbe Stelle fallen, so daß dadurch die Mondbewegung zu einer sehr verwickelten wird.

Wenn der Mond sich in seiner mittleren Entfernung von der Erde befindet, wo also die Horizontalparallaxe 57′ 34″,2 beträgt, so erscheint uns der Halbmesser desselben unter einem Winkel von 15′ 43″,3. Hieraus ergiebt sich der Halbmesser des Mondes = 234,675 (nach Mädler = 234,2) geogr. Meilen. Der Halbmesser des Mondes erscheint unter 14′ 41″ bis 16′ 45″, und kann also im Durchschnitt zu $^1/_4$ Grad angenommen werden. Burckhardt fand aus Meridianbeobachtungen den mittleren Mondhalbmesser = 15′ 13″,95, Ferber aus Sonnenfinsternissen und Sternbedeckungen = 15′ 31″,68; Wichmann giebt 15′ 33″,01 an. Nehmen wir nach Mädler den Monddurchmesser = 468,5 geogr. Meilen, so ergiebt sich der Umfang des Mondes = 1470,5 geogr. Meilen, die Oberfläche = 689240 geogr. Quadratmeilen und das Volumen = 53806000 Cubikmeilen. Im Vergleich zur Erde erhalten wir also Verhältnisse vom Monde zur Erde für

die Durchmesser 1 : 3,67,
die Oberflächen 1 : 13,44,
das Volumen 1 : 49,25,

so daß erst $49^1/_4$ Mondkugeln zu einer vereint eine Kugel von der Größe der Erde geben würden. Hieraus folgt jedoch nicht, daß die Mondmasse auch 49,25 Mal kleiner ist, als die der Erde, sondern, da derselbe eine geringere Dichtigkeit besitzt, so daß er nur $^1/_{88}$ der Erdmasse hält, so würden 88 Mondkugeln erforderlich sein, um eine Kugel von dem Gewichte der Erdkugel zu liefern. Setzen wir das specifische Gewicht der Erde = 5,44 (s. Art. Erde Bd. II. S. 907 ff.), so ergiebt sich für den Mond ein Gewicht von ungefähr 1477 Trillionen Centnern. Ist die Dichte der Erde = 1, so ist die des Mondes = 0,5614; ist nun der Fallraum in der ersten Secunde auf der Erde = 15,11 Par. Fuß, so würde dieser auf dem Monde 2,314 Par. Fuß sein, so daß die Schwere hier etwa $6^1/_2$ Mal kleiner als auf der Erde wäre. Hierbei liegt Lindenau's Angabe für die Mondmasse $\frac{1}{88}$ $\left(\text{genauer } \frac{1}{87,73}\right)$ zu Grunde; nimmt man Peter's Resultat, welches derselbe aus der Nutationsconstante gefolgert hat *), nämlich $\frac{1}{81,5}$, so würde die mittlere Dichtigkeit des Mondes = 0,60429 von der der

*) Enke's Jahrbuch. 1856. S. 301.



Erde sein, der Fallraum in der ersten Secunde sich = 2,49 Par. Fuß ergeben, und also die Schwere auf dem Monde $\frac{1}{6,05}$ von der auf der Erde sein.

Die mittlere Geschwindigkeit des Mondes in seiner Bahn um die Erde ist 0,13 Meilen oder = 3046 Par. Fuß, während die der Erde in ihrer Bahn um die Sonne 4,1 geogr. Meilen oder 93660 Par. Fuß beträgt. Die Zeit eines Mondumlaufes von einem Fixsterne aus bis wieder zu demselben nennt man, wenn man die Erde als feststehend betrachtet, den siderischen Umlauf oder den siderischen Monat. Seine Länge beträgt 27 Tage 7 St. 43 Min. 11,5 Sec. (s. Art. Monat). Da die Erde sich jedoch bewegt, so ist dieser Monat nicht die Zeit, welche bis zur Rückkehr zu demselben Fixsterne, von der währenddem fortgerückten Erde aus gesehen, vergeht. Diese Zeit heißt der synodische Monat, dessen Länge 29 Tage 12 St. 44 M. 2,7 Sec. beträgt (s. Art. Monat).

Außer der Bewegung um die Erde hat der Mond noch eine zweite Bewegung, nämlich um seine Axe. Jene kann man — nach Analogie der Erdbewegung — die jährliche, diese die tägliche Bewegung des Mondes nennen. Während aber bei der Erde beide Bewegungen von verschiedener Dauer sind, die jährliche über 365 Mal länger als die tägliche ist, sind beide bei dem Monde vollkommen gleich, d. h. während der Mond einmal um die Erde herumgeht, bewegt er sich zugleich einmal um seine Axe. Dies wissen wir daher, weil die genaue Betrachtung der Oberfläche des Mondes, in Bezug auf die sich auf derselben zeigenden Flecke, zeigt, daß der Mond uns stets genau dieselbe Seite zuwendet, da eben diese Mondflecken uns stets genau an derselben Stelle erscheinen. Es ist als ob der Mond mit der Erde gleichsam durch eine Stange unverrückbar verbunden wäre, welche durch die Mittelpunkte beider Körper ginge. Auch die Trabanten der übrigen Planeten zeigen ein gleiches Verhältniß zu den Planeten, zu welchen sie gehören. Stünde die Erde fest, so würden wir aus dieser Erscheinung folgern müssen, daß der Mond gar keine Axendrehung habe. Ein Beobachter auf der Sonne z. B. wird aber den Mond sich gleichzeitig einmal um die Erde und einmal um seine Axe bewegen sehen *).

Weil der Mond unter allen Himmelskörpern der Erde am nächsten steht, so zeichnet er sich ungeachtet seiner Kleinheit vor allen übrigen durch seine scheinbare Größe aus. Von der Sonne aus gesehen würde die Erde als eine kleine Scheibe sich darstellen, und der Mond als ein kleines Fünkchen neben derselben erscheinen. Auffallend ist die scheinbare Vergrößerung des im Horizonte stehenden Mondes im Vergleich zu seiner Größe bei höherem Stande. Es erklärt sich diese Erscheinung dadurch, daß wir unwillkürlich die uns, wenn auch nur annähernd, bekannte

*) Man denke sich einen Saal, in dessen Mitte ein Kronleuchter hängt; geht man um dieses Centrum herum, so daß man dem Leuchter stets das Gesicht zuwendet, so dreht man sich unmerklich in einem Umgange einmal um sich selbst herum. Eben so ist es, wenn man um diesen Kronleuchter herumwalzt und die einzelnen Umdrehungen dann zählen wollte, wenn man dem Leuchter gerade das Gesicht zuwendet. Würde man rechts herum walzend 365 Umdrehungen gezählt haben, so hat man in Wahrheit doch deren nur 364 gemacht, und würde man links herum walzend eben so 365 gezählt haben, so hat man umgekehrt 366 vollendet. Wegen der Anwendung auf die Rotation der Erde und ihren Lauf um die Sonne habe ich gerade die Zahl 365 gewählt.

Größe der in der Nachbarschaft des Mondes am Horizonte befindlichen Gegenstände auf den Durchmesser des Mondes übertragen. Deshalb verschwindet diese scheinbare Vergrößerung, sobald uns keine Gegenstände zur Vergleichung in der Nähe des Mondes gegeben sind, also bei hoher Stellung desselben oder beim Aufgehen oder Untergehen am ruhigen Meereshorizonte, oder beim Durchsehen durch ein Rohr.

Noch auffallender, als durch seine bedeutende scheinbare Größe ist der Mond durch die wechselnde Gestalt, in welcher er uns erscheint. Diese regelmäßig wechselnden Lichtgestalten des Mondes werden seine Phasen (v. d. griech. φάσις, Erscheinung) genannt. Die Erklärung der Phasen wird dem Anaximander zugeschrieben und Aristoteles *) kannte sie auch. Die Ursache derselben ist der Umstand, daß der Mond nicht ein selbstleuchtender Körper ist, sondern das Licht, welches er uns zusendet, und welches ihn sichtbar macht, von der Sonne entlehnt. Der Mond wird nämlich von der Sonne beleuchtet und, wie dieses natürlich, stets nur auf derjenigen Seite, welche er der Sonne zukehrt. Bezeichnet nun in beistehender Figur T die Erde, S die in sehr großer Entfernung von ihr stehende Sonne und A B C D die Bahn des Mondes um die Erde, so ist klar, daß wenn sich der Mond zwischen Sonne und Erde befindet, also bei A, so wird die der Erde abgewendete Seite desselben beleuchtet, die der Erde zugekehrte Seite dagegen ist dunkel. Zugleich übersieht man leicht, wie der Mond (wenn wir uns die Erde um ihre Axe bewegt denken) mit der Sonne bei dieser Stellung zugleich auf und untergeht. Die Zeit, wo sich der Mond in dieser Stellung befindet, heißt Neumond, und während derselben erblicken wir den Mond gar nicht. Einige Tage nach dem Neumonde erscheint der vorher bei der Sonne stehende Mond links oder östlich von derselben. Da seine ganze Umlaufszeit (der synodische Monat) $29^1/_2$ Tag beträgt, so wird er z. B. in $3^3/_4$ Tagen schon ein Achtel seines ganzen Umlaufes zurückgelegt haben, und sich folglich im Punkte m seiner Bahn befinden. In dieser Stellung werden wir einen Theil seiner beleuchteten Seite erblicken, und so wird der am Himmel sichtbare Mond die Gestalt einer von der Sonne abgekehrten Sichel haben, oder als ein umgewendetes C erscheinen. Da er sich links von der Sonne befindet, so muß er kurz nach der Sonne aufgehen und bald nach der Sonne untergehen. Nach Verlauf von $7^2/_3$ Tagen nach dem Neumonde hat der Mond $^1/_4$ seiner Bahn zurückgelegt und befindet sich bei B; bis dahin hat der Mond täglich zugenommen, d. h. seine der Sonne zugekehrte und von ihr beleuchtete Seite ist immer mehr sichtbar geworden. In der Stellung bei B sagt man, der Mond habe seine erste Quadratur oder sein erstes Viertel erreicht. Er hat nun die Gestalt einer



*) Probl. T. XV.

leuchtenden halben Kreisfläche, welche den Durchmesser auf der von der Sonne abgekehrten Seite hat. Da hier der Mond genau um 90° von der Sonne auf der Ostseite derselben absteht, so wird er in seinem ersten Viertel 6 Stunden nach Sonnenaufgang, d. h. nahe um Mittag aufgehen, und 6 Stunden nach ihr, d. h. um Mitternacht untergehen. Nach Verlauf von abermals $7^2/_3$ Tagen befindet sich der Mond bei C, nach Zurücklegung der Hälfte seiner Bahn. Jetzt kehrt er der Erde seine ganze beleuchtete Hälfte zu, es ist Vollmond und der Mond hat die Gestalt einer leuchtenden Scheibe. Der Sonne steht der Mond gerade gegenüber (in Opposition) und geht daher auf, wenn jene untergeht, und unter, wenn jene aufgeht. Von nun an nimmt der Mond wieder ab und zwar auf derjenigen Seite, welche nach dem Neumonde zuerst erschienen war. Bei D ist die ganze rechte Seite verdunkelt, er hat wieder die Gestalt einer Halbscheibe, geht um Mitternacht auf und um Mittag unter und befindet sich im letzten Viertel oder in der zweiten Quadratur, 90° von der Sonne. Von hier ab wird nun der Mond immer kleiner, nimmt immer mehr die Gestalt eines C an oder einer Sichel, geht immer mehr gegen den Morgen zu auf, und verschwindet endlich wieder bei der Sonne in A. Es ist wieder Neumond und der Lichtwechsel beginnt aufs Neue den beschriebenen Kreislauf.

Aus der Beobachtung der Figur geht hervor, daß die Erde, ein gleichfalls dunkler, von der Sonne erleuchteter Körper, vom Monde aus betrachtet ebenfalls Phasen zeigen müsse. Zur Zeit, wenn wir Neumond haben, werden die Mondbewohner die Erde als glänzende volle Scheibe erblicken, von da wird die Scheibe abnehmen, zur Zeit des ersten Viertels als Halbscheibe, zur Zeit des Vollmondes gar nicht und zur Zeit des letzten Viertels als zunehmende Halbscheibe erscheinen.

Während der Mond kurz vor und nach dem Neumonde als eine dünne Sichel am Himmel steht, kann man mit scharfen Augen und durch Fernröhre auch den übrigen nicht erleuchteten Theil des Mondes erblicken, aber derselbe schimmert nur in einem sehr schwachen Lichte, welches immer schwächer wird, je näher der Mond der Quadratur kommt. Dieses Licht wird als aschgraues bezeichnet. Dieses Licht rührt von der Erde her: ist Erdenlicht im Monde, der Wiederschein eines Wiederscheins *). Je weniger der Mond für die Erde erleuchtet erscheint, desto mehr ist die Erde erleuchtend für den Mond. Unser Planet bescheint aber den Mond $13^1/_2$ Mal stärker, als der Mond seinerseits ihn erleuchtet; und dieser Schein ist hell genug, um durch abermalige Reflexion von uns wahrgenommen zu werden. Seit Lambert und Schröter ist die Meinung herrschend geworden, daß die verschiedene Intensität des aschgrauen Lichtes des Mondes von dem stärkeren oder schwächeren Reflex des Sonnenlichtes herrührt, das auf die Erdkugel fällt: je nachdem dasselbe von zusammenhängenden Continentalmassen voll Sandwüsten, Grassteppen, tropischer Waldung und ödem Felsboden, oder von großen oceanischen Flächen zurückgeworfen wird. Ueberdies modificirt diese Intensität des Erdlichtes der meteorologische Zustand unserer Atmosphäre. Schon Leonardo da Vinci **), Galilei ***) und Kepler's Lehrer Mäst-

*) Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 497.
**) Venturi, Essai sur les ouvrages de Léonard de Vinci. 1797. p. 11.
***) Sidereus Nuncius. p. 26.

lin *) kannten die wahre Ursache des aschfarbigen Lichtes. Leslie und Pl. Heinrich **) halten es auch für möglich, daß der Mond durch Insolation von den Sonnenstrahlen selbst leuchte, welches schwache Licht wir um so besser wahrnehmen müßten, je geringer der helle leuchtende Theil des Mondes wäre.

Betrachtet man den Mond zur Zeit, wo die im aschfarbenen Lichte sichtbare Scheibe desselben auf der einen Seite von der hellen Sichel umspannt wird, so scheint die letztere ein Theil einer Scheibe von einem größeren Durchmesser zu sein, als die aschgraue Scheibe. Der Grund hiervon liegt in der Irradiation, worüber Art. Irradiation Bd. IV. S. 127 (S. 128 ist auch der vorliegende Fall erwähnt) nachzusehen ist.

Die oben gemachte Behauptung, daß der Mond der Erde immer dieselbe Seite zukehre, muß noch etwas modificirt werden. Genauere und längere Zeit fortgesetzte Beobachtungen der Mondflecken haben gezeigt, daß sich diese nicht stets in demselben Abstande von dem Rande oder dem Mittelpunkte der Mondscheibe zeigen. Eine Stelle des Mondes nehme zur Zeit des Vollmondes genau die Mitte der Mondscheibe ein; im letzten Viertel ist dies nicht mehr der Fall, sondern dieselbe liegt z. B. mehr östlich. Dieselbe Stelle nähert sich dann wieder der Mitte und geht dann auf die andere, also westliche Seite von derselben. Flecken am Mondrande nähern sich demselben oder entfernen sich mehr, verschwinden wohl gar und erscheinen nach einiger Zeit wieder. Der Mond scheint hiernach eine Schwankung ungefähr in der Richtung von Osten nach Westen zu machen. Dies ist aber nicht das Einzige; auch in der Richtung von Süden nach Norden zeigen sich ähnliche Veränderungen. Jene Erscheinung bezeichnet man als eine Schwankung oder (lat.) Libration in Länge, diese als eine solche in Breite. Die erstere Libration hat ihren Grund darin, daß die Bahn des Mondes um die Erde eine Ellipse ist, und derselbe sich folglich mit ungleichförmiger Winkelgeschwindigkeit in seiner Bahn bewegt, während seine Umdrehung um die Axe mit völlig gleichbleibender Winkelgeschwindigkeit erfolgt. Die andere Libration hat ihren Ursprung in dem Umstande, daß der Mond nicht senkrecht auf seiner Bahn steht, sondern nach Nicollet und Bouvard ***) 1° 28′ 47″ und nach Wichmann ****) 1° 32′ 9″, also im Mittel $1^1/_2$ Grad, mit seinem Aequator gegen die Bahn der Erde oder die Ekliptik constant geneigt ist. Ueberdies ist die Mondbahn gegen die Ekliptik um 5° (genauer 5° 8′ 47″,9) geneigt, so daß die Bahn des Mondes um die Erde gegen den Aequator desselben im Mittel $6^1/_2$ Grad Neigung hat. Steht nun der Mond z. B. 5° nördlich von der Ekliptik, so sehen wir über seinen Südpol hinaus und blicken noch in die jenseitige Mondhälfte, d. h. alle südlich liegende Flecken des Mondes haben ihren scheinbaren Abstand von dem Rande vergrößert, die nördlich liegenden denselben verkleinert. Umgekehrt ist es natürlich, wenn der Mond 5° südlich von der Ekliptik steht. Die Gesammtwirkung dieser beiden Librationen nennt man die allgemeine Libration. Die Verschiebung einer Stelle, welche in 40° Breite liegt, kann nach Mädler bis auf

*) Ad Vitellionem Paralipomena, quibus Astronomiae pars optica traditur. 1604. p. 254.

**) Vergl. Art. Licht. Bd. IV. S. 496.

***) S. Mädler's unten angeführtes Werk. S. 11.

****) Astron. Nachr. Nr. 631. S. 97.

10° 24′ geben. Eine dritte Libration ist die parallaktische, die darin beruht, daß zwei Beobachter an verschiedenen Stellen der Erde, von denen z. B. der eine im Aequator, der andere weit ab davon steht, gleichzeitig nicht dasselbe Profil der Mondscheibe haben können. Da der Mond der Erde so nahe ist, so ist hier auch die Parallaxe nothwendig von Einfluß. Eine vierte, bis jetzt eigentlich nur theoretisch bekannte, Libration ist die physische, die darin begründet ist, daß wir auf der Oberfläche der Erde schon nicht mehr genau dieselbe Seite der Mondkugel erblicken, welche wir von dem Mittelpunkte der Erde aus sehen würden.

Da der Mondäquator mit der Ekliptik nur den unbedeutenden Winkel $1^1/_2$° macht, so kann auf dem Monde fast gar kein Unterschied der Jahreszeiten stattfinden *), eben so werden die Temperatur, die Länge der Tage und Nächte sich stets fast gleich bleiben müssen. Die heiße Zone würde auf dem Monde nur 3 Grade oder 12 bis 13 Meilen Breite einnehmen, eben diesen Durchmesser würde die kalte Zone haben. Begreift man unter Tag die Zeit von einem Sonnenaufgange bis zum andern, so folgt aus der Bewegung des Mondes, daß ein Tag auf dem Monde $29^1/_2$ Mal so lange als ein Tag auf der Erde dauern muß, oder daß die Mondbewohner die Sonne $14^3/_4$ unserer Tage über und eben so lange dieselbe unter dem Horizonte haben müssen. Auf der einen Hälfte des Mondes steht während dieser langen Nacht die Erde am Himmel und zeigt nach einander ihre verschiedenen Phasen, und zwar so, daß, wenn wir auf der Erde Neumond haben, die Mondbewohner Vollerde hätten, und wenn für uns Vollmond ist, dort Neuerde wäre.

Wenn wir hier der Mondbewohner erwähnen, so sind darunter keine Wesen zu verstehen, wie die Menschen auf der Erde. Hierfür giebt es viele Gründe. Schon aus der Schwere, welche — wie wir oben gesehen haben — auf dem Monde ungefähr 6 Mal kleiner ist als auf der Erde, folgt, daß die lebenden Wesen auf dem Monde ganz anders beschaffen sein müssen, als die auf der Erde, weil hierdurch die Wirkung auf jeden Organismus in Hinsicht der Fähigkeit, sich zu bewegen, sich durch Wachsthum zu vergrößern, überhaupt irgend welche Kräfte zu verwenden, eine wesentliche Veränderung erleidet. Hierzu kommt noch, daß der Mond keine Atmosphäre und demnach auch kein Wasser hat, wie die Erde, worüber Art. Atmosphäre Bd. I. S. 561 nachzusehen ist **). Es ist wohl möglich, daß auf dem Monde auch belebte Wesen sind; anders als die auf der Erde müssen sie indessen jedenfalls sein. Daß gerade vernünftige Wesen daselbst sein müssen, scheint mir nicht nothwendig zu sein, da die geologischen Studien ergeben haben, daß auf der Erde Millionen Jahre lang deren ebenfalls keine vorhanden gewesen sind. In neuester Zeit ist diese Frage pro und contra von den beiden Engländern Whawell und Brewster ventilirt worden ***).

Die Mondphasen geben ein einfaches Mittel, um die Entfernung der Sonne zu berechnen. In dem Augenblicke nämlich, wo der Mond in die Quadratur tritt, ist ein Dreieck, welches man sich von der Sonne durch Mond und Erde gelegt

*) Vergl. Art. Jahreszeiten. Bd. IV. S. 6 u. Art. Erde. Bd. II. S. 904.

**) Bessel in astron. Nachr. Bd. XI. S. 411 und Mädler S. 133 u. 152.

***) Vergleiche wegen des Näheren die Grenzboten und zwar die ersten Hefte von 1856.

denkt, so daß jedes dieser Gestirne an einem Winkelpunkte des Dreiecks steht, rechtwinklich; der rechte Winkel ist beim Monde. In diesem Dreiecke ist überdies eine Seite bekannt, nämlich die Entfernung der Erde vom Monde, und außer dem rechten noch ein Winkel, nämlich der, den das Dreieck bei der Erde macht. Hieraus kann man dann die Entfernung der Sonne von der Erde und von dem Monde leicht berechnen. Das Eintreten des Mondes in die Quadratur erkennt man durch directe Beobachtung des Mondes; denn in dem Augenblicke, wo es erfolgt, geht die vorher eingebogene Linie der einen Seite der Halbscheibe in eine gerade über, in einen Durchmesser des Mondes.

Schon Eingangs dieses Artikels ist erwähnt worden, daß die Mondknoten nicht wieder auf dieselbe Stelle treffen. Die Länge des Mondknotens nimmt in Bezug auf die Fixsterne in 365 Tagen um 19°,3426 ab, d. h. die Knoten gehen in jedem gemeinen Jahre in der Ekliptik um einen so großen Winkel rückwärts. Der siderische Umlauf der Knoten erfolgt hiernach in 18 bis 19 Jahren oder 6793,28587 Tagen, der tropische in 6798,17704 Tagen. (Vergl. Art. Monat Nr. 4. Knotenmonat.) Auch die Endpunkte der langen Axe der Mondbahn, die Apsiden, — (Apsiden (v. d. griech. ἀψίς, Verbindung) sind die beiden Punkte in der Bahn eines jeden Planeten, in deren einem der Planet der Sonne am nächsten ist, während er in dem anderen am weitesten absteht. Dasselbe gilt für den Mond in Bezug zu der Erde. Apsidenlinie heißt die gerade Linie, welche die Apsiden mit einander verbindet) — sind einer Bewegung unterworfen. Beide nämlich gehen während eines gemeinen Jahres von 365 Tagen in Beziehung auf die Fixsterne durch einen Bogen von 40°,6488 vorwärts und haben daher eine siderische Revolution von 3232,56753, eine tropische von 3231,46119 Tagen und hieraus ergiebt sich (s. Art. Monat) die Länge des anomalistischen Monats. Uebrigens fallen die Knoten des Mondäquators immer mit denen seiner Bahn zusammen und zwar immer die entgegengesetzten, d. h. der aufsteigende Knoten des Mondäquators mit dem absteigenden Knoten der Mondbahn in der Ekliptik.

Während bei allen Planeten die siderische Umlaufszeit sich immerwährend gleich bleibt, scheint der Mond eine fortwährende Verkleinerung seiner Umlaufszeit um die Erde und daher seiner großen Axe zu erleiden. Nach Jahrtausenden würde hieraus ein Zusammentreffen des Mondes mit der Erde folgen. Doch hat die Auffindung des Grundes jener Verminderung gezeigt, daß dieselbe nur bis zu einer gewissen Grenze stattfindet, dann aber wieder in allmälige Entfernung übergeht. Der Grund der Beschleunigung der mittleren Bewegung des Mondes, so wie seiner Knoten und seiner Apsiden, ist nämlich die Veränderung der Excentricität der Erdbahn, die in 100 Jahren um 0,000043 abnimmt. Diese war am größten (= 0,01965) im Jahre 11400 vor unserer Zeitrechnung und nimmt seitdem durch 36900 Jahre fortwährend ab, bis sie im Jahre 25500 n. Chr. am kleinsten (= 0,0039) sein wird. Eine gleiche Periode von 36900 Jahren haben folglich auch die Veränderungen des Mondes auf seiner Bahn.

Die Bewegung des Mondes in seiner Bahn hat weit weniger Gleichmäßigkeit als die der Planeten in der ihrigen. Nennen wir die eben angeführte Veränderung des Mondes auf seiner Bahn eine seculäre, so können wir die übrigen periodische nennen, und diese haben ihren Grund in der Stellung des Mondes

gegen die Sonne oder genauer in der Lage der Sonne und des Mondes gegen die Mondknoten. Von diesen Ungleichheiten — so bezeichnet man nämlich in der Astronomie die Abweichungen von der vollkommenen Regelmäßigkeit oder Gleichförmigkeit der Bewegung des Mondes insbesondere, während man für die Planeten dasselbe mit dem Namen Perturbation belegt — ist am bedeutendsten die Evection. Die Bahn des Mondes um die feststehende Erde allein würde eine Ellipse sein; aber nun wirkt auch noch die Sonne gravitirend ein und in verschiedenen Abständen, ferner die Venus und der Jupiter, um den Mars gar nicht einmal mit zu rechnen; überdies ist die Erde keine vollkommene Kugel (— vergl. Art. Nachtgleichen, wo die Nutation besprochen ist —). Es leuchtet hiernach ein, daß durch alle diese Einflüsse die Ellipse, welche der Mond um die Erde allein beschreiben würde, mannichfache Störungen erleiden muß, zumal die gegenseitige Lage der Sonne, des Mondes und der Erde fortwährend eine andere wird. Unter Evection versteht man nun eine Veränderung in der Excentricität der Mondbahn, welche sich am größten zeigt, wenn die große Axe der Mondbahn (die Apsidenlinie) mit der Linie der Neu- und Vollmonde (Linie der Syzygien) zusammentrifft, und dagegen am kleinsten ist, wenn jene Linie in die Linie der Quadraturen fällt. Es wird nämlich durch die Gravitation der Sonne im ersten Falle die Ellipse, welche der Mond um die Erde beschreibt, verlängert, also excentrischer, im anderen Falle aus demselben Grunde rundlicher, also weniger excentrisch. Der größte Werth der Evection ist $\pm$ 1° 16′; sie ist überhaupt gleich 1°,342 multiplicirt mit dem Sinus der doppelten Winkeldistanz des Mondes von der Sonne, weniger der Winkeldistanz des Mondes von seinem Perigeum, d. h. gleich 1°,342 Mal den Sinus der doppelten Elongation weniger der Anomalie.

Eine andere Mondungleichheit ist die Variation. Bei der Bewegung des Mondes um die Erde wirken die Gravitation der Sonne und der Erde in gleichem Sinne, verstärken also einander ihre Wirkung auf den Mond, wenn dieser auf die Syzygien zugeht; umgekehrt ist es der Fall, sie wirken in entgegengesetztem Sinne, wenn der Mond von den Syzygien weggeht. Es ist dieser Einfluß am stärksten in den Octanten, während er in den Quadraturen und Syzygien verschwindet. Diese Variation genannte Ungleichheit ist gleich 0°,595 multiplicirt mit dem Sinus der doppelten Winkeldistanz des Mondes von der Sonne, d. h. gleich 0°,595 Mal den Sinus der doppelten Elongation.

Eine dritte Mondungleichheit ist die jährliche Gleichung, welche daher rührt, daß sich die stets vom Monde begleitete Erde bei ihrem Umlaufe um die Sonne bald mehr, bald weniger von der Sonne entfernt. Am auffallendsten ist dieser Unterschied in der Sonnennähe und Sonnenferne. Die Bewegung des Mondes wird beschleunigt zur Zeit unseres Sommers, also in der Sonnenferne, und verzögert zur Zeit unseres Winters, also in der Sonnennähe der Erde. Die jährliche Gleichung ist gleich 0°,187 Mal den Sinus der mittleren Anomalie der Erde.

Außer diesen Mondungleichheiten, welche man die großen nennt, giebt es noch mehrere kleinere; wir müssen indessen hier auf größere astronomische Werke verweisen, wo überdies auch über die von uns hier kurz erwähnten großen Ungleichheiten noch mehr Aufschluß entnommen werden kann. Die wahre Länge des Mondes aus seiner mittleren zu berechnen, macht eine Berücksichtigung aller

dieser Ungleichheiten erforderlich, und darum eben ist gerade bei dem Monde die Berechnung zu umständlich.

Eine Folge des wechselnden Standes des Mondes gegen Sonne und Erde sind die Mond- und Sonnenfinsternisse. Da die Erde ein dunkler Körper ist, so wirft sie, auf der einen Hälfte beleuchtet von der Sonne, hinter sich einen langen Schatten. So wie es sich nun trifft, daß der Mond in diesen Schatten zu stehen kommt, so verhindert die Erde, daß das Licht der Sonne zu dem Monde gelange, und der Mond erscheint folglich verdunkelt. Dieses Phänomen heißt eine Mondfinsterniß. Läge die Bahn des Mondes in derselben Ebene mit der Ekliptik, so müßte alle Monate eine Mondfinsterniß eintreten, nämlich jedesmal dann, wenn die Erde zwischen Mond und Sonne stünde, welches zur Zeit des Vollmondes der Fall ist. Da jedoch die Mondbahn mit der Erdbahn einen Winkel von 5°,1 macht, so ist dies nicht der Fall, indem der Mond unter oder über dem Erdschatten weggehen kann.

Ist der Halbmesser einer leuchtenden Kugel, z. B. der Sonne, R, einer beleuchteten undurchsichtigen, z. B. der Erde, r, die Entfernung ihrer Mittelpunkte E, und ist die leuchtende Kugel größer als die beleuchtete, so ist die Länge des Kernschattens

$$x = \frac{Er}{R - r} = \frac{E}{\frac{R}{r} - 1}.$$

Verhält sich nun der Sonnenhalbmesser zum Erdhalbmesser, wie 112:1 und ist die Entfernung der Erde von der Sonne 20 Millionen Meilen, so ergiebt sich für die Länge des Schattenkegels der Erde 180180 Meilen.

Unter den oben gemachten Bedingungen ergiebt sich der Halbmesser des Kernschattens in der Entfernung e von dem Mittelpunkte der beleuchteten Kugel:

$$\varrho = r - \frac{(R - r)\, e}{E}.$$

Berechnen wir nun, den wahren Durchmesser des Mondes zu 468,4 Meilen, den scheinbaren Durchmesser in der größten Entfernung zu 29′ 22″ und in der kleinsten zu 33′ 31″ genommen, die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde = 51436,25, die größte = 54831, die kleinste = 48041,5 Meilen; so ergiebt sich der Halbmesser des Erdschattens in der mittleren Entfernung des Mondes = 614,14, in der größten = 597,9 und in der kleinsten = 630,3 Meilen. Hieraus folgt, daß der Mond, dessen Halbmesser nur 234,2 Meilen beträgt, in allen seinen Abständen von der Erde seiner ganzen Größe nach in den Erdschatten eingehüllt sein kann. Ist dies der Fall, so heißt die Mondfinsterniß eine totale, d. h. gänzliche *).

In den vorher genommenen drei Abständen des Mondes, für welche wir den Halbmesser des Erdschattens bestimmt haben, ergiebt sich der scheinbare Durchmesser des Erdschattens in der mittleren Entfernung = 1° 22′ 5″,2, in der größten = 1° 14′ 58″ und in der kleinsten = 1° 30′ 12″; ist nun die Nei-

*) Emsmann, physikalische Aufgaben. Leipzig 1852. Absch. XXIII. Aufg. 1, 2, 7, 14, 15 u. 16.

gung der Mondbahn = 5° 9′ 45″, so muß zur Zeit der Opposition die Breite des Mondes (Abstand des Mondmittelpunktes von der Ebene der Ekliptik), wenn keine Mondfinsterniß sein soll, wenigstens sein: in der mittleren Entfernung 56′ 45″,85, in der größten 52′ 10″, in der kleinsten 1° 1′ 51″,5; und soll eine totale Mondfinsterniß eintreten, höchstens: in der mittleren Entfernung 25′ 19″,35, in der größten 22′ 48″, in der kleinsten 28′ 20″,5. Ist im ersteren Falle die Breite größer, so geht der Mond unter oder über dem Erdschatten fort; ist sie kleiner, aber noch nicht so klein, als es für totale Mondfinsternisse erforderlich ist, so geht der Mond nur theilweise durch den Erdschatten und die Finsterniß heißt partial. Ist die Breite des Mondes gleich den für die totale Finsterniß gefundenen Werthen, so ist dieselbe nur einen Augenblick total; ist die Breite kleiner, so hält dieselbe länger an, am längsten bei der Breite 0°, d. h. wenn der Mond zur Zeit des Vollmondes gerade in einem Knoten steht. Die längste Dauer einer partialen Finsterniß kann nicht über 2 St. 18 Min. währen, die einer totalen nicht über 4 St. 38 M. Die Größe einer Finsterniß pflegt man nach Zollen anzugeben, indem auf den ganzen Durchmesser des Mondes 12 Zoll gerechnet werden. Binnen 18 Jahren und 11 Tagen kehren wegen des Umlaufes der Mondknoten alle Mondfinsternisse in derselben Ordnung wieder, und zwar kommen auf diesen Zeitraum 29 derselben. Totale Mondfinsternisse haben wir zu erwarten zunächst: 1870 am 17. Januar und 12. Juli, 1877 am 27. Februar und 23. August, 1880 am 16. December u. s. w.

Der Rand des Erdschattens ist bei einer Mondfinsterniß, während er über den Mond hinweg zieht, nicht scharf begrenzt, sondern wie verwaschen, außerdem ist der Schatten nicht dunkel und Alles verhüllend, sondern mehr oder weniger roth und undurchsichtig. An dem nicht scharfen Rande ist der Halbschatten Schuld, da die Sonne kein leuchtender Punkt ist. Außerdem hat die Erde eine das Licht brechende und trübende Atmosphäre, da sie mit Dünsten und Wolken erfüllt ist, und hiervon rührt jedenfalls die eigenthümliche Färbung her, worüber wir auf Art. Dämmerung Bd. II. S. 1 verweisen. Eine Wirkung der Refraction in der Atmosphäre der Erde und davon, daß die Atmosphäre ebenfalls einen Schatten wirft und nicht blos der feste Erdkern, ist überdies eine Vergrößerung des Durchmessers des Erdschattens um $^1/_{65}$ bis $^1/_{28}$ im Verhältniß zu dem oben gefundenen Resultate, was nothwendig einen auf die Dauer der Finsterniß wohl zu beachtenden Einfluß hat. Ein völliges Verschwinden oder Unsichtbarwerden des Mondes bei totalen Mondfinsternissen ist überaus selten *). Die Ränder bei Mondfinsternissen sind lichtbräunlich, ganz verwaschen und in großen Finsternissen, namentlich kurz vor dem Anfange und gleich nach dem Ende der Totalität von sehr schöner himmelblauer Farbe umflossen. Eine durchaus genügende Erklärung aller Farbenerscheinungen ist noch nicht gefunden, wiewohl nicht zu läugnen ist, daß die Atmosphäre der Erde hierbei eine Hauptrolle spielt. Das Roth ist oft kupferfarbig, oft dem des glühenden Eisens ähnlich, und bisweilen so hell, daß sich während der Totalität selbst ein Hof um den Mond bilden kann.

Eine Sonnenfinsterniß entsteht dann, wenn der Mond eine solche Stellung hat, daß er einem Theile der Erdbewohner den Anblick der Sonne ganz

*) v. Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 499.

oder theilweise entzieht. Da dies nur dann der Fall sein kann, wenn der Mond in gerader Linie zwischen Sonne und Erde steht, so werden Sonnenfinsternisse nur dann eintreten können, wenn Neumond ist und der Mond in der Nähe seines Knotens sich befindet. Der Mond wirft eben so wie die Erde einen Schatten. Bei mittlerer Entfernung der Sonne und mittlerer Entfernung des Mondes von der Erde ergiebt sich zur Zeit der Conjunction der Kernschatten des Mondes etwas über 50000 Meilen. Da nun die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde 51436, die größte 54831, die kleinste 48041 Meilen beträgt, so ergiebt sich, daß zu Zeiten der Mondschatten bis zur Erde hinreichen kann und daselbst einen Schlagschatten werfen muß, zu anderen die Erde gar nicht erreichen wird, ja es könnte der Fall eintreten, daß der Schatten nur mit seiner Spitze die Erdoberfläche berührt. Wirft der Mond einen Schlagschatten auf die Erde, so werden alle dort sich aufhaltenden Erdbewohner die Sonne gar nicht sehen. Hier ist also eine totale Sonnenfinsterniß.

Innerhalb des Halbschattens wird sich gleichzeitig eine partiale Sonnenfinsterniß zeigen und außerhalb dieses findet gar keine Sonnenfinsterniß statt. Reicht der Schatten gerade mit seiner Spitze bis zur Erde, so hat man an allen den Orten, welche der Reihe nach von der Spitze getroffen werden, eine nur einen Augenblick währende totale Sonnenfinsterniß, innerhalb des Halbschattens ist dieselbe aber wieder partial. Reicht endlich der Kernschatten gar nicht bis zur Erde, so ist die Finsterniß allenthalben im Halbschatten partial; an der Stelle jedoch, wo die den Mittelpunkt der Sonne und des Mondes verbindende gerade Linie hintrifft, wird man den Mond mitten vor der Sonne sehen, umgeben von einem hellen Reifen von allenthalben gleicher Breite. Eine solche Erscheinung nennt man eine centrale ringförmige Sonnenfinsterniß; ringförmig wird jedoch auch noch die Finsterniß da genannt, wo man die ganze dunkle Mondscheibe vor der Sonne erblickt, umgeben von dem überstehenden halben Theile der Sonne, wenn dieser auch nicht allenthalben von gleicher Breite ist. Dies ist in dem Raume der Fall, welcher in dem über die Spitze verlängert gedachten Kegelmantel des Kernschattens des Mondes liegt. Außerhalb dieses Raumes zeigt sich in dem Halbschatten eine partiale Finsterniß. Der Mond zieht vor der Sonne vorüber wie eine Wolke und eben so wie mit dieser der Schatten über die Erde fortschreitet, so ist es auch mit dem Schatten des Mondes. Daher ist jede Sonnenfinsterniß nur auf einem bestimmten Theile der Erdoberfläche sichtbar und in ihrer Erscheinung für die verschiedenen Orte gleichzeitig verschieden, wodurch sie sich wesentlich von der Mondfinsterniß unterscheidet, die auf dem ganzen Theile der Erde gesehen wird, an welchem überhaupt der Mond zur Zeit seiner Verfinsterung über dem Horizonte steht, was, da die Finsterniß noch einige Zeit währt, mehr als die Hälfte der Erdkugel trifft. Für die ganze Erde sind die Sonnenfinsternisse daher zwar häufiger, indem fast 40 in 18 Jahren, aber nur 29 Mondfinsternisse, eintreten; für einen bestimmten Ort der Erde treten sie aber seltener ein. Im Durchschnitte hat jeder Ort nur alle 2 Jahre eine Sonnenfinsterniß und nur alle 200 Jahre etwa eine totale. Die in diesem Jahrhunderte noch bevorstehenden in Europa sichtbaren Sonnenfinsternisse sind: 1858 am 15. März; 1860 am 28. Juli; 1861 am 31. December — Mädler sagt, daß in dieser Finsterniß etwas Poetisches liegt, indem sie am letzten Tage des scheidenden Jahres eintritt und zweifelsohne würden terrestrische Ereignisse mit dieser Constellation in Verbindung ge-

bracht werden; 1863 am 17. Mai; 1867 am 6. März; 1868 am 23. Februar; 1870 am 22. December; 1873 am 26. Mai; 1874 am 10. October; 1880 am 31. December; 1882 am 17. Mai; 1887 am 19. August — für Berlin die einzige *totale* Sonnenfinsterniß des 18. und 19. Jahrhunderts; 1890 am 17. Juni; 1891 am 6. Juni; 1896 am 9. August; 1899 am 8. Juni und 1900 am 28. Mai.

Bei Sonnenfinsternissen ist der Mond, wenn er die Sonne völlig verdeckt, mit einem hellen, nach außen allmälig sich verlaufenden Nimbus umgeben, in welchem und am Rande des Mondes selbst man glänzend rothe Hervorragungen, *Protuberanzen*, von verschiedener Gestalt und Größe beobachtet hat. Den weißen, mit Strahlen versehenen Nimbus, die sogenannte *Corona*, hielt man früher für eine Wirkung der Mondatmosphäre. Da diese nicht erwiesen werden kann, so vermuthet man, daß dieselbe einen Theil der Photosphäre der Sonne bildet, vielleicht aber auch ihre Entstehung der Inflexion des Lichtes am Rande des Mondes, oder vielleicht beiden zugleich, verdanke. Die Protuberanzen gehören wahrscheinlich der Sonne allein.

Die Berechnung der Sonnen- und Mondfinsternisse ist nicht schwer und schon die ältesten Völker haben sie verstanden. Wir müssen indessen hier auf größere astronomische Werke verweisen. Es wird in den heiligen Büchern der Chinesen erzählt, daß im Jahre 2550 v. Chr. eine Finsterniß stattgefunden habe, welche die Astronomen *Ho* und *Hi* falsch berechnet hätten, wofür sie mit dem Tode bestraft worden wären. *Ptolemäus* erzählt im *Almagest* von zwei Mondfinsternissen, welche die Chaldäer zu Babylon 719 und 720 v. Chr. beobachtet haben. Zwei sehr alte Sonnenfinsternisse sind die *Agathokles*'sche und die, welche die kämpfenden Lyder und Meder trennte und *Thales* vorher verkündet hatte. Nach *Airy* war letztere am 28. Mai 585 v. Chr.; eine in sofern wichtige Bestimmung, als aus ihr eine unbedeutende Verringerung des Zurückgehens der Mondknoten hervorgeht.

Von jeher haben die dunkleren *Flecke*, welche der leuchtende Mond zeigt, und besonders der Mangel scharfer Abgrenzung in den Mondphasen an dem inneren Rande gegen den aschfarbenen Theil hin, die Aufmerksamkeit der Beobachter auf sich gezogen. Seit man den Mond durch Fernröhre betrachtet, ist kein Zweifel, daß dieselben Thäler und Berge sind. Schon *Plutarch* in seiner kleinen Schrift *über das Gesicht im Monde* ahndet in den Flecken theils tiefe Klüfte und Thäler, theils Berggipfel *). Man hat dieses namentlich aus den Schatten der Mondberge geschlossen. Diese Schatten sind um so länger, je höher die Berge sind, welche sie erzeugen, und je tiefer für sie die Sonne am Horizont steht, und sie befinden sich stets auf der von der Sonne abgekehrten Seite der Berge. An der Lichtgrenze des dunklen und beleuchteten Theiles des Mondes befinden sich diejenigen Orte, welchen so eben die Sonne aufgeht, für die sie also am tiefsten am Horizonte steht. Auf dieser Seite sind auch die Schatten am längsten, und dieselben werden immer kürzer, je tiefer die sie erzeugenden Berge in der Lichtseite des Mondes liegen. Zur Zeit des Vollmondes steht der Mitte des Mondes die Sonne im Zenith, daher werfen hier die Berge gar keinen Schatten mehr,

*) v. *Humboldt*'s Kosmos. Bd. III. S. 502.

wie dieses auch auf der Erde der Fall ist, an Orten, denen die Sonne in der Mitte des Horizonts steht. Man hat selbst die Höhe der Mondberge zu berechnen versucht und Schröter hat Berge entdeckt, welche eine Höhe von 25000 Par. Fuß haben, welches der Höhe der höchsten Erdberge gleich kommt, wo nicht sie übertrifft. Vergleicht man diese Höhe mit dem Durchmesser des Mondes, so zeigt sich, daß er Berge hat, die im Verhältniß zum Durchmesser viermal höher als die Berge der Erde sind. Man unterscheidet im Allgemeinen zwei Gattungen von Mondgebirgen, nämlich Ringgebirge und Bergketten. Jene haben größtentheils die Form großer ausgetrockneter Teiche, welche rings von hohen Wällen umgeben sind, und oft viele Quadratmeilen große Flächen einschließen, in deren Mitte gewöhnlich ein einzelner kegelförmiger Berg sich erhebt. Die Bergketten laufen meist strahlenförmig von hohen Bergrücken aus. Die Ringgebirge scheinen durchaus vulkanischen Ursprunges zu sein, indem die eingeschlossenen Flächen ungeheuer weite und tiefe Kraterbecken sind. Nach Schröter ist die Masse der einen solchen Krater umgebenden Berge stets so groß, daß sie gerade den Krater auszufüllen hinreichen würde, hiernach wären sie die Anhäufungen der ausgeworfenen Massen. Außer den Ring- und Kettengebirgen bemerkt man auf der Mondoberfläche noch eine Menge einzelner Bergkegel, welche isolirt stehen und sich schroff über die umgebende Ebene erheben. Auch entdeckt man, gewöhnlich zwischen zwei oder mehreren Ringgebirgen, Streifen von unbedeutender Breite, welche oft mitten durch die Krater hindurchgehen und wie Straßen fortlaufen, aber gewiß keine solchen sind, wie man wohl geglaubt hat. Ueberdies giebt es noch große, meist grau gefärbte Flecken, in welchen keine Unebenheiten zu entdecken sind, und die man Meere genannt hat. Von den Vulkanen des Mondes scheinen einige noch jetzt in Thätigkeit zu sein. So will Halley Feuerscheinungen (Blitze) auf dem Monde wahrgenommen haben. Herschel bemerkte auf dem nicht beleuchteten Theile des Mondes einen hellleuchtenden Punkt, welchen er für das Feuer eines Vulkanes hielt. Schröter entdeckte 1788 einen neuen Krater, von dem er gewiß wußte, daß er vorher noch nicht existirt hatte. Auch hat derselbe großartige vorübergehende Veränderungen an den Mondbergen bemerkt. Man hat vielfache Beschreibungen und Karten des Mondes gegeben, in denen die einzelnen Flecke besondere Namen erhalten haben. Hevel *) gab den Mondbergen und den grauen Ebenen, die er für Meere hielt, Namen von Ländern, Meeren und Bergen der Erde. Nachher hat ein spanischer Astronom den Mondflecken die Namen der Kalenderheiligen ertheilt. Der Jesuit Riccioli gab endlich denselben die Namen berühmter Astronomen und Gelehrten, ein Princip, welches bis jetzt in Gebrauch geblieben ist. In topographischer Hinsicht ist eine Karte von Cassini zu erwähnen. Die ersten Karten, 2 vom Vollmonde und 2 topographische Hauptkarten, nebst 40 etwa 8 Zoll großen Abbildungen lieferte Hevel. Auf Messungen beruhte zuerst die Karte von Tobias Mayer **). Außerdem haben sich verdient gemacht Schröter in Lilienthal bei Bremen, dessen „Atlas des Mondes" (1794 und 1802) über 70 Karten enthält. Ferner verdient Gruithuisen und namentlich Lohrmann in Dresden Erwähnung, von denen der letztere eine

**) Joannis Hevelii Selenographia seu descriptio lunae etc. Danzig 1647.

*) Eine Copie derselben in Schröter's selenographischen Fragmenten. Bd. I. 1791. Bd. II. 1802.

Karte in 25 Sectionen entwarf, von denen aber nur bis 1824 vier erschienen sind *). Die neuesten ausgezeichneten Mondkarten sind von Beer und Mädler **). Neuerdings hat auf Schmidt's Veranlassung Dickert in Bonn die ganze sichtbare Hemisphäre des Mondes in dem Maßstabe von 18 Par. Fuß Durchmesser in Reliefform ausgearbeitet. 1849 bis 1854 ***). v. Humboldt besitzt ein Daguerreotyp des Mondes (Mond-Lichtbild) von zwei Zoll Durchmesser, in welchem man die sogenannten Meere und Ringgebirge deutlich erkennt, angefertigt von Whipple zu Boston ****).

Wir bemerken hier noch, daß der Regel nach die dunkleren Theile der Mondscheibe die flächeren und niederen, die helleren, viel Sonnenlicht reflectirenden Theile die höheren und gebirgigen sind. Die größeren niederen Ebenen liegen in dem nördlichen und östlichen Theile; in Südwesten sind Berge an Berge gedrängt. Einige Berge des Mondes haben eine Höhe $= \frac{1}{454}$ des Monddurchmessers, während auf der Erde dies Verhältniß für die höchsten Berge nur $\frac{1}{1481}$ ist. Die Messungen der Berghöhen auf dem Monde geschehen entweder durch Licht-Tangenten, d. h. durch Bestimmung des Abstandes der in der Nachtseite des Mondes als Lichtpunkte erleuchteten Berggipfel von der Lichtgrenze, oder durch die Länge der Schatten. Schon Galilei bediente sich der ersten Methode. Schlimm ist es hierbei, daß es auf dem Monde kein mittleres Niveau giebt, wie auf der Erde die Meeresfläche, auf welches die Höhenmessungen bezogen werden können. Es geben daher die Messungen durch Schattenlängen nur die Berghöhe über demjenigen Punkte an, welcher zur Zeit der Beobachtung von der Schattenspitze getroffen wurde. Fällt nun der Schatten in eine Ebene, ein Meer, so erhält man ziemlich übereinstimmende Resultate, nicht aber in bergigen Gegenden. Ist der Berg spitz, scharf und steil, außerdem von einer Ebene umgeben, so kann man sogar durch den Schatten auf die Ebene gewissermaßen nivelliren und die Krümmungen in den grauen Ebenen bestimmen. J. Schmidt in Olmütz hat bisher zuerst und allein derartige Zusammenstellungen gegeben, namentlich von dem Berge Callippus α, aus welchen hervorgeht, daß das Mare Serenitatis, wenigstens mit seinen östlichen Flächen, bedeutend und gewiß ein Paar hundert Toisen höher liegt als der Palus *****).

Ob der Mond eine Abplattung habe, sollte man theoretisch vermuthen, sowohl wegen seiner Rotation, als wegen der Gravitation der Erde, die eine äquatoriale Anschwellung der diesseitigen Halbkugel herbeiführen mußte. Directe Beobachtungen haben keine Abplattung ergeben †); doch ist damit der Mangel derselben noch nicht erwiesen, da dieselbe theoretisch nur 9,2 Toisen betragen würde, eine Größe, die sich allerdings der Beobachtung entziehen kann.

*) W. G. Lohrmann, Topographie der sichtbaren Mondoberfläche. 1 Abth. 1824.

**) Mappa Selenographica etc. Berlin 1834 ff., begonnen 1830, 4 Blätter, beendigt 1837.

***) Ueber das Bremer Relief: Das Relief der sichtbaren Halbkugel des Mondes. Olmütz 1854; Leipziger illustr. Zeitung Nr. 549. 14. Octbr. 1854.

****) Kosmos. Bd. III. S. 505.

*****) Jahn's Unterhaltungen. 1854. S. 113—115.

†) Bessel in Astron. Nachr. Nr. 263.

Schließlich erwähnen wir noch des Einflusses, welchen der Mond auf die Erdbeben zu haben scheint. Nach Perrey *) folgt aus einer Zusammenstellung von etwa 7000 Beobachtungen von Erdbeben, daß der Einfluß des Mondes auf dies Ereigniß dreifacher Art ist:

1) die Erdbeben sind häufiger in den Syzygien als in den Quadraturen;
2) in Beziehung auf den Mondstag zeigt die Häufigkeit der Erdbeben 2 Maxima und 2 Minima, erstere entsprechend den Durchgängen des Mondes durch den Meridian, letztere entsprechend den Abständen dieses Gestirnes vom Meridian des Ortes um 90⁰;
3) die Erdbeben sind häufiger in Perigeum als Apogeum des Mondes.

Nach Perrey und Elie de Beaumont liegt hier eine Art Ebbe und Fluth zu Grunde, welche die Anziehungskraft des Mondes im flüssigen Erdinnern, welches nur von einer verhältnißmäßig so dünnen starren Rinde bedeckt ist, erzeugt. Auch bei den in neuester Zeit so häufigen Erdbeben in der Schweiz will man einen Einfluß des Mondes bemerkt haben, und zwar daß die Stöße bei wachsendem Monde am stärksten sind.

Wegen der Wirkung des Mondes auf das Meer ist Art. Ebbe und Fluth zu vergleichen, wegen des magnetischen Einflusses auf die Erde Art. Magnetismus der Erde. Ueber den Einfluß des Mondes auf die in der Atmosphäre vorgehenden Veränderungen fehlte es bis in die neuere Zeit an genauen Beobachtungen. Arago hat eine Zusammenstellung des hierher Gehörigen geliefert. Was Flaugergue's Untersuchungen zuerst ergeben, hat sich durch Bouvard's und Eisenlohr's, ferner durch Schübler's Beobachtungen bestätigt, nämlich, daß eine Abhängigkeit des Regens von der Mondstellung nicht zu läugnen ist. Eben so hat sich nach Schübler und Bouvard in Beziehung auf die Winde herausgestellt, daß die südwestlichen Winde zur Zeit des zweiten Octanten ihr Maximum, zur Zeit des letzten dagegen ihr Minimum haben. Nach meinen eigenen Untersuchungen **) fällt für Berlin das Maximum der westlichen Winde zur Zeit des ersten Mondviertels am meisten nach Süden und entfernt sich am meisten zur Zeit des letzten Viertels; mit der größten Annäherung an Süden fällt das Maximum der Stärke zusammen, mit der größten Abweichung das Minimum. Das Maximum der südwestlichen Winde finde ich beim ersten Viertel, das Minimum beim letzten, also unmittelbar vor der von Schübler und Bouvard gefundenen Mondsphase. Das Minimum der nordöstlichen Winde geht dem Maximum der südwestlichen voraus, und das Maximum der nordöstlichen Winde dem Minimum der südwestlichen. Eine Abhängigkeit der Windverhältnisse von der Mondstellung scheint hiernach nicht zweifelhaft zu sein.

Das bedeutendste Werk über den Mond ist:

Der Mond nach seinen kosmischen und individuellen Verhältnissen, oder allgemeine, vergleichende Selenographie, mit besonderer Beziehung auf die von den Verfassern herausgegebene Mappa Selenographica von W. Beer und Dr. J. H. Mädler. Berlin 1837.

*) Instit. 1854. p. 201; Compt. rend. T. XXXVIII. p. 1038.; Sillim. Amer. Journ. (2) T. XIX. p. 55.

**) Emsmann, Untersuchungen über die Windverhältnisse zu Berlin. Frankfurt a. O. 1839. S. 16.

Ein größeres selenographisches Werk, in welchem auch Lohrmann's Nachlaß Berücksichtigung finden wird, ist angekündigt von J. F. Jul. Schmidt. Ein Vorläufer dieses Werkes ist so eben erschienen: Der Mond. Ein Ueberblick über den gegenwärtigen Umfang und Standpunkt unserer Kenntnisse von der Oberflächengestaltung und Physik dieses Weltkörpers von J. F. Jul. Schmidt. Leipzig 1856.

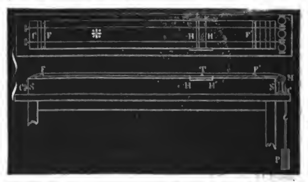
Für die Parallaxe des Mondes braucht man jetzt vorzugsweise die Mondtafeln von Burkhardt; neue Tafeln sind erschienen von Adams in Cambridge, der in den Burkhardt'schen mehrere Fehler nachgewiesen hat. Bedeutende Erleichterung gewähren beim Rechnen die Mondtafeln von Peirce in Nordamerika, die sich auf theoretische Untersuchungen von Plana, Hansen und Airy gründen. Von Hansen in Gotha stehen neue Tafeln in Aussicht.

H. E.

Mondfinsternisse, s. Mond.

Monochord (v. dem griech. μόνος, einzig, und χορδή, Saite, also Einsait), oder Sonometer (Schallmesser), oder besser Tonometer (Tonmesser) ist ein Instrument zur Ermittelung und Prüfung der bei gespannten Saiten stattfindenden Verhältnisse zwischen Länge, Dicke und Spannung zu dem Tone, welchen sie, in Schwingungen versetzt, geben.

Das Monochord kann verschiedene Gestalten erhalten; in der einfachsten besteht dasselbe aus einer einzigen über einen Resonanzboden nach Art der Saiten eines Claviers gespannten Saite, unter welcher ein verschiebbarer Steg an beliebigen Stellen eingesetzt werden kann. In der Regel bringt man aber mehrere Saiten an, wenigstens zwei, um das Verhältniß des Tones zur Saitendicke, oder zur Spannung zu ermitteln, auch wohl um dem Stoffe nach verschiedene Saiten in akustischer Hinsicht vergleichen zu können. Beistehende Figur zeigt ein Monochord mit zwei Saiten, also eigentlich ein Dychord. Die Saite ist an einem Haken



oder Zapfen C befestigt, geht über die festen Stege F und F', über eine bewegliche Rolle M und endet an einem anderen Haken C', an welchem man das spannende Gewicht P anhängt. Der bewegliche Steg H H' kann unter der Saite hingehen, ohne sie zu berühren; man stellt ihn, wohin man will, und drückt, um die Länge der Saite zu verkürzen, diese mit dem Finger auf die Kante T dieses Steges. Der Kasten SS' ist ein zur Verstärkung des Schalles dienender Resonanzboden.

In dem Artikel Ton ist das Nähere angegeben über die Beziehungen zwischen Schwingungszahl und Ton. Um den Gebrauch des Monochords zu erläutern, erinnern wir hier nur daran, daß

$$N : n = \frac{\sqrt{P}}{DL} : \frac{\sqrt{p}}{dl}$$

sich verhält, wo N und n die Schwingungszahlen zweier gespannter Saiten, L und l ihre Längen, D und d ihre Durchmesser und P und p ihre Spannung bezeichnen. Für Saiten von gleichem Durchmesser und gleicher Spannung erhalten wir also

$$N : n = l : L \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1);$$

für Saiten von gleicher Länge und gleicher Spannung

$$N : n = d : D \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

und für Saiten von gleichem Durchmesser und gleicher Länge

$$N : n = \sqrt{P} : \sqrt{p} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Diese Proportionen zu prüfen, dient das Monochord. Gesetzt die Saite sei hinlänglich gespannt, um einen reinen und vollen Ton zu geben, wenn sie ohne Anwendung des Steges H H' schwingt. Man nehme den von ihr angegebenen Ton als Grundton, also als C, an und verrücke den Steg nach und nach so, daß man die übrigen Noten der Tonleiter D, E, F, G, A, H, c erhält. Ist nun der als Einheit angenommene Abstand der beiden Stegkanten F und F' genau in kleine Unterabtheilungen bis zu Funfzehnteln eingetheilt, so wird man für die Töne der Tonleiter folgende entsprechende Längen finden:

Name der Töne	C	D	E	F	G	A	H	c
Längen der Saite	1	$^8/_9$	$^4/_5$	$^3/_4$	$^2/_3$	$^3/_5$	$^8/_{15}$	$^1/_2$

und da die Anzahl der Schwingungen der Saite im umgekehrten Verhältnisse ihrer Länge steht, so wird man, wenn man die Schwingungszahl für C als Einheit annimmt, erhalten:

Name der Töne	C	D	E	F	G	A	H	c
Schwingungszahl	1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2

Auf diese Weise wäre die unter (1) aufgestellte Proportion der Prüfung zu unterwerfen. In ähnlicher Weise verfährt man bei Ermittelung der Tonverhältnisse in der chromatischen Tonleiter und allen sonstigen Tonverhältnissen, so weit bei denselben nur die Länge in Betracht kommt, worüber Artikel Ton zu vergleichen ist.

Soll die unter (2) aufgestellte Proportion geprüft werden, so sind, während vorher eine einzige Saite ausreichte, zwei von verschiedenem Durchmesser aufzuspannen. Der Steg H H' kommt hier nicht zur Anwendung, dagegen sind beide Saiten durch ein gleiches Gewicht P zu spannen. Wählt man zwei Saiten, von denen der Durchmesser der einen doppelt so groß ist, als der der anderen, was man am zweckmäßigsten durch Abwägung gleich langer Stücken beider Saiten ermittelt, so giebt die dünnere die Octave des Tones der dickeren; stehen die Durchmesser in dem Verhältnisse 3 : 2, so erhält man den Grundton und die Quinte rc.

Bei der Prüfung der unter (3) aufgestellten Proportion werden zwei Saiten von derselben Drahtnummer aufgespannt, der Steg H H' bleibt ebenfalls fort, aber die spannenden Gewichte sind verschieden. Ist p = 4 P, so giebt die stärker gespannte Saite die Octave von der schwächer gespannten; stehen die spannenden

Gewichte im Verhältniß von 4 : 9, so erhält man Grundton und Quinte u. s. f. Die Gewichte im Verhältnisse 1 : 4 zu nehmen ist übrigens an dem beschriebenen Monochord kaum durchzuführen, da an sich schon ein großes Gewicht erforderlich ist, um einen klaren Ton zu erhalten; man nimmt daher gewöhnlich nur das Verhältniß 4 : 9.

Die oben angegebene Einrichtung mit Rollen, über welche die Saite geführt wird, ist zu scharfen Messungen weniger geeignet; besser ist hierzu ein verticales Gestell, wie solches E. G. Fischer *) benutzt hat. Die Saiten werden dann durch die angehängten Gewichte unmittelbar gespannt. Dieselbe Einrichtung wählte auch W. Weber **) bei seinen akustischen Unteruchungen, allerdings mit einigen verbessernden Abänderungen. Um die Rollen zu umgehen, hat man wohl auch metallene Hebel angebracht, welche die spannenden Gewichte tragen, und an denen das eine Ende der Saite eingehakt wird; doch hat diese Einrichtung manche Uebelstände, wodurch eine so genaue Messung, wie bei an verticalen Saiten hängenden Gewichten nicht möglich wird. Wir erwähnen hier nur die Reibung an dem Stifte, welcher als Hypomochlium dient, und daß es schwierig ist, der Saite gerade die zweckmäßige Länge zu geben, abgesehen davon, daß man erst den Schwerpunkt der Hebel bestimmen muß, um durch Berücksichtigung des Gewichtes derselben die Reduction auf mathematische Hebel durchzuführen.

Außer der oben angegebenen Prüfung der Schwingungsverhältnisse transversal schwingender tönender Saiten, so weit die Länge, der Durchmesser und die Spannung darauf Einfluß hat, dient das Monochord noch zu manchen anderen experimentellen Untersuchungen. Wir führen hier noch Einiges auf.

Man stelle den beweglichen Steg auf einen aliquoten Theil der Saite, so daß dieselbe in ungleiche Längen zerfällt; besetze das längere Stück mit kurzen, schmalen Papierstreifen, die in der Mitte eingeknickt sind (Reiterchen), und streiche das kürzere Saitenstück mit einem Violinbogen. Die Reiterchen fallen ab mit Ausnahme derjenigen, welche auf einem Theilpunkte stehen, so daß daraus klar wird, wie die Saite in aliquoten Theilen geschwungen hat, und daß die Theilpunkte Schwingungsknoten waren. War der Steg auf $^1/_5$ gestellt, so bleiben die Reiterchen auf $^2/_5$, $^3/_5$ und $^4/_5$ sitzen u. s. f.

Man spanne zwei Saiten des Monochords so, daß sie genau denselben Ton geben. Setzt man die eine in schwingende, tönende Bewegung, so giebt die andere denselben Ton, d. h. sie schwingt mit, wie man sich leicht dadurch überzeugen kann, daß bei Berührung der ersten Saite, so daß sie zu tönen aufhört, der Ton noch durch die zweite Saite forttönt. Auch durch den Anblick der Saite, indem sie sich scheinbar verdickt, gewinnt man die Ueberzeugung, daß dieselbe in Schwingungen gerathen ist.

Reibt man eine Saite mittelst eines mit Colophonium bestreuten Läppchens longitudinal, so werden aufgesetzte Reiterchen hin und her geschoben zum Beweise der longitudinalen Schwingungen.

Die Erzeugung der Klirrtöne ***) gelingt am Monochord nur schwer, wohl mit deshalb, weil der Apparat hierzu meistentheils zu kurz ist. Wir führen

*) Berliner Denkschriften 1822 und 1823. S. 187.

**) Pogg. Ann. Bd. XV. S. 1.

***) Chladni's Akustik. Leipzig 1802. S. 74. §. 59.

hier nur an, daß, wenn der Steg unter die Mitte der Saite gesetzt wird, so daß diese nicht fest aufliegt, und wenn die Saite so gerissen wird, daß sie senkrecht auf den Steg aufschlägt, ein Ton entsteht, der um eine Quinte tiefer ist, als der tiefste natürliche Ton der Saite.

Auch für Combinations-Töne ist in der Regel das Monochord zu kurz.

Da das Monochord mit einem Resonanzboden versehen ist, so kann man sich desselben zweckmäßig zur Veranschaulichung von Resonanzerscheinungen bedienen. Man stemme eine etwas starke Glasröhre senkrecht auf den Deckel des Resonanzbodens und setze sie durch Reiben mittelst eines wollenen Läppchens in longitudinale Schwingungen, so zeigen sich auf dem mit Sand bestreuten Resonanzboden Schwingungsfiguren. H. E.

Morgen, s. Abend.

Morgenpunkt, s. Abendpunkt.

Morgenröthe, s. Dämmerung und Himmel.

Morgenweite, s. Abendweite.

Morgenstern, s. Planeten.

Multiplicator (v. dem lat. multiplicare, vervielfältigen) Galvanoskop, Galvanometer ist ein Apparat, durch welchen das Vorhandensein schwacher elektrischer Ströme, wie durch die Elektroskope schwache Grade gewöhnlicher Elektricität, nachgewiesen, oder die Stärke des elektrischen Stromes, wie durch die Elektrometer die der Reibungselektricität, gemessen werden soll. Anfangs unterschied man nicht scharf diese beiden Gesichtspunkte, wie es wohl auch mit Elektroskop und Elektrometer theilweise der Fall ist, und brauchte die Bezeichnung Galvanoskop und Galvanometer nach Belieben; jetzt aber ist dieser Unterschied entschieden festzuhalten. Wir werden daher auch in diesem Artikel die Apparate, welche nur die Gegenwart schwacher elektrischer Ströme anzeigen, d. h. die Galvanoskope oder eigentlichen Multiplicatoren, von den Apparaten, welche zur Messung der Stromstärke dienen, d. h. von den Galvanometern abgesondert behandeln.

I. Galvanoskop oder Multiplicator.

Bald nach Entdeckung des Elektromagnetismus (1820) erfand Schweigger in Halle ein Instrument, welches die Gegenwart auch der schwächsten elektrischen Ströme durch die von denselben bewirkte Ablenkung der Magnetnadel aus ihrer gewöhnlichen Stellung anzeigt. Es ist dies der **Schweigger'sche Multiplicator**, ein Instrument, welches bis jetzt noch und wohl für immer als eigentliches Galvanoskop im Gebrauche ist und bleiben wird. Vorher bediente man sich der Froschschenkel zu dem Nachweise schwacher elektrischer Ströme, und somit könnte man von Schweigger's Erfindung die Emancipation der Frösche datiren.

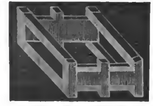
Die Construction dieses Instrumentes beruht auf dem Umstande, daß, wenn ein elektrischer Strom durch einen Metalldraht in der Ebene des magnetischen Meridians über eine freihängende Magnetnadel oder unter derselben hingeführt wird, derselbe eine Ablenkung des Nordpols der Nadel nach Osten oder Westen bis zur senkrechten Stellung auf die Richtung des magnetischen Meridians bewirkt. Das Gesetz, nach welchem diese Ablenkung gemäß der Richtung des Stromes erfolgt, ist im Art. Elektromagnetismus Bd. II. S. 781 und 782 näher

angegeben. Ebenda findet sich auch der Nachweis, daß ein über eine Nadel hinweggeführter Strom in demselben Sinne ablenkend auf die Magnetnadel wirkt, wie ein in entgegengesetzter Richtung unter der Nadel hinweggeführter, d. h. das Princip, auf welchem eben der Schweigger'sche Multiplicator *) beruht. Wir verweisen hier auf den angeführten Artikel, insofern daselbst auch wegen der mehrfachen Windungen, wegen der Isolirung der einzelnen Windungen und wegen der Verwendung einer astatischen Nadel statt der einfachen das Wesentlichste bereits Aufnahme gefunden hat, und bringen hier nur noch neben dem Historischen das Speciellere bei, um die Beschreibung des Apparates zu vervollständigen.

Da man es beim Multiplicator gewöhnlich nur mit schwachen Elektricitätsgraden zu thun hat, so genügt es den Draht in seiner ganzen Länge mit Knopfseide einfach zu überspinnen. Um die Ablenkung der Magnetnadel durch die Entladung der Leidner Flasche nachzuweisen, wendete Colladon **) einen Apparat an mit 500 Umwindungen, dessen Draht doppelt mit Seide umsponnen war und dessen Windungen er überdies durch Wachstaffent getrennt hatte, da sonst die Elektricität von einer Umwindung zur anderen übergeht.

Gewöhnlich bedient man sich eines kupfernen Drahtes von der Dicke einer Klaviersaite, da das Kupfer vorzügliche Leitungsfähigkeit besitzt. Weil der Leitungswiderstand des Drahtes mit zunehmendem Durchmesser desselben abnimmt, so ist es gut, wenn man zwei Multiplicatoren hat, etwa den einen mit 20 bis 30 Windungen aus Draht von $^1/_2$ bis $^2/_3$ Millimeter, und den anderen mit 100 bis 200 und mehr Windungen von sehr feinem Drahte, wobei man im letzteren Falle, wenigstens wenn man noch mehr Windungen anbringt, wohl noch die Einrichtung trifft, nach Belieben alle Windungen oder nur die Hälfte benutzen zu können, da der Widerstand mit der Länge des Drahtes wächst. Becquerel unterscheidet Multiplicatoren mit langen Drähten oder elektrochemische, weil diese besonders brauchbar sind, wo der elektrische Strom durch chemische Thätigkeit erregt wird, und Multiplicatoren mit kurzem Drahte oder thermoelektrische zur Benutzung bei elektrischen Strömen, die unter gewissen Umständen durch die Wärme erregt sind. Auch Fechner ***) hebt diesen Unterschied hervor und hat in dieser Beziehung wichtige Untersuchungen angestellt.

Zur Befestigung der Windungen dient ein nach der Länge der anzuwendenden Nadel sich richtender, möglichst niedriger Kupfer- oder Holzrahmen, im Lichten etwa 2 Zoll im Quadrate haltend und an zwei gegenüberstehenden Seiten, die zur Aufnahme der Drahtwindungen bestimmt sind, bis auf 3 bis 5 Linien Dicke ausgeschnitten. Nebenstehende Figur wird diesen Rahmen am anschaulichsten machen. Bei Du Bois-Reymond's Multiplicator beträgt die Länge des Rahmens im Lichten oder des Spielraums für die untere Nadel 64^{mm}; Breite im Lichten



*) Schweigger's Journ. Bd. XXXI. S. 2.
**) Pogg. Ann Bd. VIII. S. 336.
***) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 232.

37ᵐᵐ; Höhe der Querleisten oder des Spielraums für die untere Nadel 4ᵐᵐ; Länge der Seitenwände 110; Höhe derselben 51ᵐᵐ.

Die Nadel muß innerhalb des Rahmens zwischen der oberen und unteren Seite der Windungen schweben, oder ist die Nadel astatisch, so muß die untere Nadel zwischen den Windungen sich bewegen können, die obere über den oberen. Damit zwischen den Windungen der nöthige Raum zum Aufhängen der Nadel bleibt, ist am Rahmen, wie die Figur zeigt, in der Mitte der zum Aufwinden bestimmten Seiten noch ein Vorsprung stehen geblieben, der die Windungen zu beiden Seiten auseinander hält. Durch diese gebildete Oeffnung geht ein feiner Faden (ein Coconfaden), welcher die innerhalb des Rahmens befindliche Nadel trägt und oberhalb befestigt ist, so daß die Nadel frei beweglich an ihm schwebt. Raschig *) ließ den Coconfaden noch durch ein Glasröhrchen gehen, was indessen unnöthig ist. Bei der Einrichtung von Pelins **) wirken die Drahtwindungen nur von einer Seite auf die Nadel. Ritchie ***) hing die Nadel statt an einem Coconfaden an einem feinen Glasfaden auf und nannte den Apparat Torsions-Galvanometer; doch gesteht er selbst, daß eine Aufhängung an einem Coconfaden empfindlicher ist. Marianini's Multiplicator ****) soll die Drähte mit den Nadeln immer in derselben verticalen Ebene erhalten, hat aber durch die deshalb getroffene Einrichtung an Feinheit verloren.

Das Rähmchen befestigt man auf einem Brettchen, welches auf einem mit drei Schraubenfüßen versehenen Gestelle horizontal drehbar ist. Die Drahtenden läßt man an den Seiten des Brettchens heraustreten. Auf der oberen Seite des Rahmens bringt man eine hölzerne, oder elfenbeinerne, oder kupferne Platte mit einer auf Papier gezeichneten, festgeklebten Kreiseintheilung an, welche in der Richtung des Durchmessers, welcher dem Nullpunkte entspricht, und also auch in der Richtung der Drahtwindungen schlitzförmig ausgeschnitten ist. Eine von 90 zu 90, wenn der Kreis von 0 aus nach beiden Seiten bis 180 getheilt ist, oder von 90 zu 270, wenn die Eintheilung von 0 bis 360 geht, gezogene Linie dient zur besseren Orientirung. Gewöhnlich sind bei 90 und 270 Stifte angebracht, damit die Nadel nicht ganz herumgeworfen wird. Du Bois *****) hat, weil heftiges Anschlagen der Nadeln gegen dieselben theils zu starke Schwankungen hervorbringt, theils dem Magnetismus nachtheilig werden kann, den Gebrauch zweier nahe doppelten Coconfäden vorgezogen, welche von dem Aufhängepunkte der Nadel aus durch kleine in der Theilung angebrachte Oeffnungen zu beiden Seiten des Rahmens herabhängen, und unterhalb des Spielraums der unteren Nadel mit kleinen unmagnetischen Gewichten, z. B. einem Stück Platindraht, beschwert sind. Die Nadel fängt sich an diesen Hemmungen auf die angemessenste Weise. Auch ganz dünne und also sehr leicht biegsame Glimmerblättchen, gegen welche die Nadel schlägt, haben sich bewährt. Bei astatischen Nadeln dient die obere Nadel zugleich als Zeiger; bei einer einfachen Nadel ist oben noch ein feiner Silberdraht oder eine Schweinsborste als Zeiger befestigt.

---

*) Gilbert's Ann. Bd LXVII. S. 429.

**) Gilbert's Ann. Bd. LXXIII. S. 366.

***) Philos. Transact. for 1830. p. 215.

****) Wiener Zeitschrift. Bd. IV. S. 42. Bibl. univ. T. XXXVIII. p. 127.

*****) Untersuchungen über thierische Elektricität von E. Du Bois-Reymond. Berlin 1848. Bd. I. S. 201.

Der ungefähr 140mm lange Coconfaden wird an der Nadel an einem Häkchen angeknüpft und oben an einer Schraube, die sich an einem Ständer befindet, aufgewickelt, so daß der Faden möglichst genau im Mittelpunkte der Kreiseintheilung hängt, oder an einem kantigen Stäbchen oben am Ständer befestigt, welches sich durch eine Schraube auf und nieder schieben läßt, ohne selbst gedreht zu werden.

Ueber den ganzen Apparat wird eine Glasglocke gestellt zur Vermeidung des Luftzuges, wobei es sich von selbst versteht, daß die Stellschrauben und die Schraube, an welcher der Coconfaden hängt, zugänglich bleiben müssen; die Glocke steht deshalb auf dem drehbaren Brettchen, und oben geht die Schraube durch ein in der Glocke befindliches Loch, wie Beides an beistehender Abbildung zu sehen ist.

Soll der Apparat von einer Stelle zur anderen getragen werden, so schraubt man den Coconfaden herunter, so daß die Zeigernadel auf dem eingetheilten Kreise fest aufliegt, weil sonst der Coconfaden leicht reißt. Beim Gebrauche schraubt man den Faden wieder in die Höhe, bis die Nadel schwebt, und stellt den Apparat, indem man das Brettchen dreht, welches den Rahmen trägt, so daß der Nullpunkt der Kreiseintheilung nach Norden liegt, also der Schlitz auf derselben im magnetischen Meridiane sich befindet. Da astatische Nadeln, weil selten beide Nadeln gleich stark magnetisch sind, nicht immer in jeder Stellung stehen bleiben, sondern einen durch die stärkere Nadel bedingten Stand annehmen, so hat man dafür zu sorgen, daß der Nullpunkt der Kreiseintheilung mit der Richtung der Nadel zusammenfällt.



Stellt man mit einem solchen Multiplicator Messungen an, so hat man nicht den ersten Ausschlag zu beobachten, sondern den Stand der Nadel oder vielmehr ihre Abweichung, nachdem sie zur Ruhe gekommen ist. — In gewissen Fällen stellt man den Multiplicator mit seinen Windungen wohl auch senkrecht auf die Richtung der Magnetnadel. Dann bewirkt der durch ihn gehende Strom keine Ablenkung der Nadel, sondern er wirkt den Erdmagnetismus verstärkend dahin, die Nadel noch mehr in ihrer Stellung zu befestigen. Nach der Oscillationsmethode*) kann man hierauf bestimmen, um wie viel durch den Strom die den Magnet richtende Kraft verstärkt worden ist.

Die Verbindung der astatischen Nadel mit dem Multiplicator rührt von Nobili her**). Da bei dieser Einrichtung zweier entgegengesetzter Magnetnadeln der Strom offenbar auf die untere stärker, als auf die obere Nadel wirkt, so schlug Schweigger für zwei Nadeln den Gebrauch der elektromagnetischen Schleife vor***), die aber keinen Eingang gefunden hat. Eben so

*) Art. Magnetismus. Bd. IV. S. 762

**) Schweigger's Journal. Bd. XLV. S. 249. Pogg. Ann. Bd. VIII. S. 338. und Bd. XX. S. 214 u. 243. Bibl. univ. T. XXIX. p. 119.

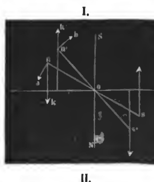
***) Schweigger's Journ. Bd. XLV. S. 254.

hat man dem Vorschlage, vier Nadeln zu verwenden *), keinen Beifall geschenkt, da hierdurch, wie Nobili nachgewiesen hat, der Apparat keineswegs an Empfindlichkeit gewinnt. Die genauesten Untersuchungen über den Multiplicator hat Du Bois-Reymond **) angestellt. Das Verhältniß seines Rahmens ist oben bereits angeführt; die Länge des Drahtes betrug bei seinem Instrumente 1000^{m}, der Durchmesser desselben 0,17^{mm}, die Zahl der Windungen 4650; die Länge der Nadeln war 58,4^{mm}, Durchmesser 1,0^{mm}, Abstand im Lichten 25^{mm}. Die Nadeln waren cylindrisch mit kegelförmigen Spitzen; jede Nadel wog 384, das neusilberne Verbindungsstück 408 Milligramm; später benutzte er Nadeln von gleicher Länge und Abstand, sie waren aber dünner und allmälig zugespitzt. Eine jede Nadel wog 226, das kupferne Verbindungsstück 130 Milligramm.

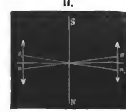
Der Draht ist nicht leicht ganz eisenfrei. Galvanoplastisches Kupfer wäre wohl solches, läßt sich aber nicht zu so dünnem Drahte ausziehen, als hier nöthig ist. Selbst durch das Ziehen durch Eisen wird der Draht verunreinigt, und sogar bei Du Bois-Reymond's Multiplicator war der Draht, ungeachtet die äußerste Schicht entfernt worden war, nicht ganz rein.

Die Astasie der Nadeln so weit wie möglich zu treiben, widerräth Du Bois. Je vollkommner astatisch ein Nadelpaar ist, desto langsamer schwingt es; er brachte es höchstens bis zu einer Schwingungsdauer von 30″, während Matteuci 70″ beobachtet haben will. Je vollkommner die Astasie ist, desto mehr weicht die Nadel in ihrer Stellung von dem magnetischen Meridian ab, so daß sie bei völliger Astasie rechtwinklig zu demselben stehen würde. Du Bois-Reymond nennt dies die freiwillige Ablenkung astatischer Nadelpaare. Schon Nobili fand den Grund hiervon darin, daß die Horizontalprojectionen beider Nadeln niemals ganz zusammenfallen, sondern einen mehr oder weniger großen Winkel mit einander bilden ***). Es seien ns und n′s′ die Horizontalprojectionen der beiden vollkommen gleichen und gleich starken magnetischen Nadeln, NS der magnetische Meridian, welcher durch ihren Kreuzungspunkt o geht. Die Kräfte, welche die Nadeln zu drehen suchen, denken wir in ihren Endpunkten angebracht, und zwar parallel mit NS. Die in n (s. Figur) angreifende Kraft sei k, ihre Entfernung von o sei Ek, so ist k.Ek das statische Moment, mit welchem diese Kraft die eine Nadel in der Richtung des Pfeiles a zu drehen sucht. Da nun am anderen Ende der Nadel eine gleiche Kraft am gleich langen Hebelarme

I.



II.



*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXV. p. 118.

**) a. a. O. Bd. I. S. 162 ff.

***) Du Bois-Reymond a. a. O. Bd. I. S. 170. Moser in Dove's Repertorium der Physik. Bd. I. S. 260.

in demselben Sinne drehend wirkt, so ist die Gesammtkraft, mit welcher die Nadel n s in der Richtung a gedreht wird, 2 k . Ek. Die Kraft, mit welcher die andere Nadel n' s' in entgegengesetzter Richtung, also in der Richtung des Pfeiles b gedreht wird, ist, wenn die in n' angreifende Kraft k' und ihre Entfernung von o gleich E k' ist, eben so 2 k'. E k'. Es kann also nun Gleichgewicht sein, wenn 2 k . Ek = 2 k'. Ek' ist, was nur dann der Fall sein wird, wenn, wie in der zweiten Figur, die Linie, welche den in der Wirklichkeit sehr spitzen Winkel der Nadeln halbirt, rechtwinklig auf dem magnetischen Meridiane steht. Von dieser Stellung wird die Gleichgewichtslage des Nadelpaares natürlich um so mehr abweichen, je ungleicher der Magnetismus der beiden Nadeln, oder k und k', ist. Doch hat die freiwillige Ablenkung für den Gebrauch des Multiplicators keinen praktischen Nachtheil, wenn man nur die Nadel mit der Nulllinie zum Einstehen bringt und dann arbeitet, als ob sich die Nadel im Meridiane befände.

Anders steht es mit dem Einflusse des, wie bereits erwähnt ist, nicht eisenfreien Drahtes. Ist die Nadel sehr astatisch, so stimmt die Stellung der Nadel im Multiplicator nicht völlig mit der außerhalb desselben überein. Folgt man jetzt der Nadel mit den Windungen, so flieht sie bis zu einer gewissen Lage derselben vor der Nulllinie her, wobei sich der Winkel zwischen ihr und der Nulllinie stets verkleinert; überschreitet man diese Grenze, so schlägt die Nadel plötzlich durch den Nullpunkt durch und sucht jenseits desselben eine feste Gleichgewichtsstellung.

Denken wir uns ein absolut astatisches Nadelpaar, so stellt sich ein solches in die Richtung einer der Diagonalen der Drahtwindungen. Bringt man das Nadelpaar über den Spalt, also zwischen beide Drahthälften, so steht es im labilen Gleichgewichte, und die geringste Verrückung bringt die Nadeln in die Stellung der einen Diagonale. Die Größe der Kraft nun, mit welcher das Nadelpaar in verschiedenen Punkten der Theilung durch die Drahtmassen afficirt wird, stellt Du Bois-Reymond *) durch eine Curve dar, welche er die störende nennt. Da diese Curve für jedes Instrument durch besondere Versuche bestimmt werden muß, so gehen wir hier nicht weiter darauf ein; die Art und Weise der Versuche ergiebt sich aber durch Einsicht der angeführten Stelle. Da somit ein Anziehungspunkt auf jeder Seite der Nulllinie durch den Spalt hervorgerufen wird, so hat Peclet **) eine Vorrichtung angegeben, den Spalt zu vermeiden, indem er die beiden Nadeln an einem dieselben ringförmig umfassenden elfenbeinernen Rahmen befestigte, so daß keine Spaltung der Windungen mehr nöthig war. Poggendorff ***) hat diese Vorrichtung modificirt, und Kleiner hat vorgeschlagen, anstatt den Spalt mit dem Kupferdrahte selbst zuzuwickeln, denselben nachträglich, wenn jene an ihrer Stelle sind, mit passend zugerichteten Stücken desselben Kupfers auszufüllen, aus welchem die Drähte bestehen ****).

Schröder *****) fügt ein Paar $1\frac{1}{2}'''$ lange, dünne Eisencylinder horizontal in die mittleren Stäbe des Rahmens ein, welche dazu dienen, die Windungen aus einander zu halten, und verschiebt oder verkleinert diese Eisen-

*) a. a. O. Bd. I. S. 177 ff.
**) Ann. de Chim. et de Phys. 3. Ser. T. II. p. 104.
***) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 339.
****) Du Bois-Reymond a. a. O. Bd. I. S. 186.
*****) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 60.

cylinderchen so lange, bis sie die Nadel in der den Windungen parallelen Lage halten.

Corrigirt man den störenden Einfluß der Drahtmassen nicht an und für sich, so muß man die Regulirung durch einen sogenannten Berichtigungsstab bewerkstelligen. Nobili ist es, von welchem der Vorschlag ausging; Poggendorff *) hat sich damit beschäftigt; Matteuci hat eine von Ruhmkorff hierzu ersonnene Vorrichtung beschrieben; am gründlichsten hat aber Melloni den Gegenstand behandelt **). Stellt man nämlich einen Magnetstab in der Verticalebene der beiden Nadeln, wenn sie sich in ihrer Gleichgewichtslage befinden, so auf, daß seine Axe mit der Horizontalen, welche die senkrechte Entfernung der beiden Nadeln halbirt, zusammenfällt, so wirkt er mit gleichen, aber entgegengesetzten Kräften auf beide Nadeln und die Astasie des Systems bleibt unverändert. Hebt oder senkt man den Stab, so wirkt er beschleunigend oder verzögernd auf die Schwingungen des Nadelpaares. So hat man die Regulirung der Astasie ganz in der Hand. Melloni schlägt einen Stab von 200mm Länge und 5mm Durchmesser vor, den er auf einem Stative, welches auf- und niedergestellt werden kann und außerdem vermittelst eines Gelenkes verschiedene Neigungen des Stabes gegen den Horizont gestattet, befestigt, und stellt ihn so auf, daß die in der Azimuthebene des Nadelpaares befindliche, gegen den Horizont ungefähr um 45° geneigte Stabaxe verlängert den nächsten Pol des astatischen Nadelpaares treffen würde. Du Bois-Reymond, dessen Arbeiten mit dem Multiplicator als Muster dienen können, hat meistens mit dem Berichtigungsstabe gearbeitet.

Außer der magnetischen Einwirkung der Drahtmassen ist das Nadelpaar auch noch dem Einflusse der magnetischen Erdkraft unterworfen, welche für sich allein dasselbe auf dem Nullpunkte der Theilung zurückzuhalten strebt und es mit um so größerer Kraft dahin zurücktreibt, je weiter man es von demselben entfernt. Diese Kraft ist im Allgemeinen um so geringer, je vollkommener die Nadel astatisch ist. — Ist die Nadel berichtigt, so bleibt sie übrigens nicht lange in diesem Zustande, namentlich wirken Temperaturveränderungen störend ein, indem dadurch Strömungen innerhalb der von der Glocke abgesperrten Luftmasse erregt werden.

Der Multiplicator ist mithin ein äußerst delicater Apparat, und es leuchtet ein, daß derselbe zu Messungen von Stromstärken weniger geeignet ist. Die Ablenkungen sind den Stromstärken übrigens nicht einmal proportional, höchstens innerhalb der ersten 20 Grade kann diese Proportionalität annähernd angenommen werden. Um daher die relative Stärke von Strömen zu messen, muß man sich anderer Apparate bedienen, die wir im zweiten Abschnitte dieses Artikels besprechen werden, oder man muß den Multiplicator empirisch graduiren. Da diese Graduirung doch nur wenig Werth haben wird, indem das Instrument Veränderungen ausgesetzt ist, und man dann auch auf Empfindlichkeit verzichten muß, so verweisen wir hier nur auf eine ausführliche Abhandlung von Poggendorff ***) in welcher auch die älteren Methoden angegeben sind. Nobili, Nervander, Peltier, Petrina u. A. haben sich damit beschäftigt, wor-

*) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 370.
**) Du Bois-Reymond a. a. O. S. 188 ff.
***) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 324.



über Du-Bois-Reymond (a. a. O. S. 198) die nöthige Literatur giebt *). Man wird diese Apparate meistens nur benutzen, um die Unterschiede zwischen den Intensitäten der verschiedenen Ströme aus der größeren oder geringeren Ablenkung der Nadel zu erkennen, ohne daß es auf eine scharfe Messung ankommt. Dies wird namentlich bei schwachen Strömen vorkommen, und da ist die Empfindlichkeit des Apparates die Hauptsache.

Wir führen daher nur noch historisch an, daß Hachette **) einen Multiplicator construirte, bei welchem der Draht um ein kleines Hufeisen von weichem Eisen gewickelt wurde. Der so gebildete Elektromagnet wirkte auf eine Magnetnadel ein. Bei von Göthe ***) wird ein Multiplicator von Demonferrand erwähnt, der aber nicht in Gebrauch gekommen ist. Pouillet ****) schlug vor mehrere einzelne Drähte, z. B. 5 von 60 Fuß Länge, statt eines einzigen von 300 Fuß Länge zu nehmen und die Enden in einen einzigen dickeren Draht durch Anlöthen zu vereinigen. Auch diese Einrichtung ist nicht in allgemeinen Gebrauch gekommen. Jacobi *****) hat vorgeschlagen, an die Magnetnadel unten ein kleines Platinblech zu befestigen, welches in ein kleines Gefäß mit Oel taucht, um die Nadel schneller zur Ruhe zu bringen. Buff †) hat darauf aufmerksam gemacht, daß Multiplicatorgewinde mit weiter innerer Höhlung, durch passende Auswahl einer astatischen Nadel, in Galvanoskope von verhältnißmäßig großer Empfindlichkeit verwandelt werden können.

Wegen der Kraft, mit welcher der Draht auf die Magnetnadel wirkt, ist zu vergleichen Art. Elektromagnetismus Bd. II. S. 783. Die Untersuchung über den Einfluß der verschiedenen Drahtlängen bei dem Multiplicator hat namentlich Fechner geführt ††). Jeder Multiplicatordraht ist nichts anderes, als eine in eine Kette gebrachte Leitungsverlängerung. Es kommt nach ihm überhaupt darauf an, von welcher Bedeutung der Multiplicatordraht für den Gesammtleitungswiderstand der Kette ist. Er äußert sich in dieser Beziehung, wie folgt. Wenn man einen Draht von gleichbleibender Länge nimmt und diesen erst eine, dann zwei, dann drei Windungen u. s. f. um die Nadel machen läßt, so nimmt die dadurch anzuzeigende Wirkung im geraden Verhältniß der Zahl der Windungen zu, wenigstens insofern die Windungen als in merklich gleicher Entfernung von der Nadel befindlich angenommen werden können, was wir hier vorläufig immer voraussetzen wollen. Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet kann daher ein Multiplicator mit möglichst vielen Windungen nur vortheilhaft sein. Allein zu einer großen Anzahl Windungen wird auch ein langer Draht erfordert, während zu wenigen Windungen ein kurzer hinreicht, und es fragt sich, ob der vermehrte Leitungswiderstand, den diese größere Drahtlänge in die Kette

---

*) Ann. de Chim. et de Phys. 1839. T. LXXI. p. 225. Phil. Transact. for 1853. P. II. p. 327. Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 111 und S. 609, Bd. LIX. S. 214, Bd. LXI. S. 18 u. 50, Bd. LXIII. S. 344. Ann. der Chemie und der Pharmacie. 1843. Bd. XLV. S. 128.

**) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 560.

***) Zur Naturwissenschaft. Hft. II. S. 214.

****) Élémens de Phys. exper. et de Météorologie 1828. T. I. p. 695.

*****) Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 29. Bullet. de l'Acad. de Petersb. T. V.

†) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XC. S. 1.

††) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 232.

bringt, nicht unter gewissen Umständen den Vortheil der vielen Windungen compensiren könne. In der That ist dies der Fall. Um dies zu zeigen, wollen wir uns eine einfache Kette von so großer erregender Oberfläche und mit so guter Leitungsflüssigkeit denken, daß der Widerstand der Flüssigkeit und des Uebergangs im Gesammtwiderstande gar nicht in Betracht kommt, sondern gegen den Widerstand des Multiplicators merklich verschwindet, dieser mithin allein neben der elektromotorischen Kraft die Kraft der Kette bestimmt. Da wir nun wissen, daß die Kraft der Kette im Verhältniß zu dem Gesammtwiderstande steht, der in ihr vorhanden ist, so wird sie im jetzigen Falle im geraden Verhältniß der Verlängerung des Multiplicatordrahtes abnehmen, der hier den Gesammtwiderstand merklich allein repräsentirt. Verlängert man also in diesem Falle den Multiplicatordraht, um ihn immer mehr Windungen um die Nadel machen zu lassen, so wird man durch vermehrte Windungszahl nichts anderes erlangen, als die Schwächung des Stromes durch den vermehrten Leitungswiderstand gerade zu compensiren, so daß mithin eine noch so sehr vermehrte Anzahl Windungen die Wirkung weder vergrößern noch schwächen wird. Die Wirkung wird in diesem Falle ganz dieselbe sein, wie sie eine einzige Windung des Multiplicators von derselben Dicke, als der Draht besitzt, hervorgebracht haben würde, so daß man durch Vertauschung des Multiplicators mit einem einmal umschlungenen, aber dickeren Draht eine stärkere Wirkung erlangen wird, als mittelst des Multiplicators selbst *). Natürlich wird gerade das umgekehrte Verhältniß eintreten müssen, wenn der Widerstand des Multiplicatordrahtes gegen den übrigen Leitungswiderstand der Kette verschwindet, also bei kleinen Platten und schlechter Leitungsflüssigkeit, insbesondere, wenn mehrere dergleichen Platten zur Säule vereinigt sind. In der That kann in diesem Falle eine Verlängerung des Multiplicatordrahtes bis zu gewissen Grenzen gar keinen merklichen Einfluß auf die Wirkung haben. In diesem Falle wird also die vervielfältigende Wirkung des Multiplicators ganz rein in Kraft treten und die Anzeige desselben wird wirklich in geradem Verhältniß der Anzahl seiner Windungen stehen, übrigens unabhängig von der Materie und Dicke seines Drahtes sein. Nach denselben Grundsätzen läßt sich nun auch beurtheilen, wann es vortheilhaft ist, einen Multiplicator aus einem einzigen langen und dünnen, eine Continuität bildenden, Drahte mit vielen Windungen, oder einem kürzeren, aber dickeren Drahte mit weniger Windungen, oder was dem letzteren äquivalent ist, aus mehreren kürzeren parallelen Drähten anzuwenden: ersteres in allen Fällen, wo der Leitungswiderstand in der Kette groß, letzteres, wo er gering ist. In Bezug auf Multiplicatoren aus mehreren parallelen Drähten bemerkt Fechner Folgendes: Der Strom theilt sich zwischen den parallelen Drähten des Multiplicators, und die ganze Verstärkung, die man erhält, je nachdem man einen, zwei, oder mehrere parallele Drähte anwendet, beruht somit einzig darauf, daß mehrere parallele Drähte einem dickeren Drahte gleich wirken, welcher wegen seines geringeren Leitungswiderstandes eine größere Stromstärke verstattet. In allen den Fällen daher, wo eine vermehrte Dicke des Drahtes die Wirkung nicht merklich verstärken würde, wegen Verschwindens gegen den übrigen Leitungswiderstand, wird auch die Hin-

*) Begreiflich würde dies im höchsten Grade bei thermoelektrischen Ketten eintreten, wo weder ein Widerstand der Flüssigkeit noch des Ueberganges vorhanden ist.



zufügung von noch so vielen parallelen Drähten nichts weiter zur Wirkungsverstärkung beitragen können; ja die Wirkung auf die Nadel wird geschwächt werden müssen, wenn die äußersten Drähte in zu große Entfernung von der Nadel kommen. Jedenfalls wird bei immer weiterer Vermehrung der parallelen Drähte zuletzt eine Grenze erreicht werden müssen, von wo an dieser letzterörterte Fall eintritt, weil man damit zuletzt dahin gelangen muß, daß der Leitungswiderstand dieser Drähte zusammengenommen gegen den übrigen Widerstand nicht mehr in Betracht kommt.

Versuche von Poggendorff dienen den Fechner'schen Bemerkungen zur Bestätigung.

Nach Untersuchungen von Ohm läßt sich die Wirkung K, welche ein Multiplicator auf die Nadel äußert, durch folgende Formel ausdrücken:

$$K = \frac{nA}{c + nl}.$$

Hierin bedeutet n die Zahl der Windungen, l den Widerstand einer einzigen Windung (welcher der Länge der Windung direct, dem Querschnitte des Drahtes umgekehrt proportional ist), A die elektromotorische Kraft der Kette, c den Widerstand, den die übrigen Theile der Kette außer dem Multiplicator dem Strom entgegensetzen. Genau ist zwar diese Formel nur für die Voraussetzung, daß alle Windungen in merklich gleicher Entfernung von der Nadel liegen, die in der Wirklichkeit nicht erreichbar ist. Ohm hat endlich durch Versuche folgende aus Fechner's angeführten Bemerkungen sich ergebenden Sätze dargethan: 1) daß die Wirkung eines Multiplicators in Fällen, wo sein Leitungswiderstand gegen den der übrigen Kette verschwindet, blos von der Anzahl seiner Windungen, aber weder von der Dicke noch der Materie des dazu gebrauchten Drahtes abhängt; 2) daß in demselben Falle die Wirkung zweier Multiplicatoren, die eine verschiedene Anzahl von Windungen erhalten haben, mit dieser Zahl in geraden Verhältnissen steigt und fällt.

II. Galvanometer.

Da das Gesetz, durch welches Ablenkungen der Magnetnadel und Stromstärken mit einander verknüpft sind, weil die verschiedenen Instrumente in ihren Verhältnissen von einander abweichen, für jedes einzelne Instrument durch Rechnung nicht zu bestimmen ist, so muß man sich eines bestimmten Instrumentes zur Ermittelung der relativen Stromstärken bedienen, an welchem die Stromstärken eine bekannte Function der Ablenkungswinkel ausmachen. Hierzu sind mehrere Instrumente in Vorschlag gebracht.

Fechner's Galvanometer *) mit auf die Windungen senkrechter Nadel, deren Schwingungsdauer als Maß des Stromes dient, wie bereits im ersten Abschnitte dieses Artikels bemerkt worden ist.

Becquerel's elektromagnetische Waage **), deren sich auch Jacobi und Lenz bei ihren Untersuchungen bedienten ***) und die im Wesent-

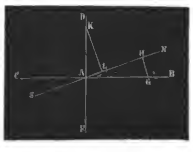
*) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 471.
**) Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 307.
***) Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 226.

lichen aus einem feinen, bei einem Milligramme einen Ausschlag gebenden Waagebalken besteht. Die von den Armen herabhängenden Drähte halten Waageschalen und tragen an ihrem unteren Ende jeder einen vertical herabhängenden, mit dem Nordpole nach unten gerichteten Stahlmagnet. Die Magnetstäbe hängen in Glasröhren hinein, die mit 10000 Windungen mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes umwickelt sind, wobei die Axen der Stäbe und Windungen zusammenfallen müssen. Durchströmt ein elektrischer Strom diesen Draht, so tritt eine Wirkung auf die Magnete ein, der Magnet wird gehoben oder senkt sich herab, und nach dem Laufe des Gewindes können beide Magnete den Balken in gleichem Sinne bewegen. Bringt man durch aufgelegte Gewichte Gleichgewicht hervor, so kann man aus den verschiedenen Gewichten bei verschieden starken Strömen auf die relative Stärke der Ströme schließen.

Wilhelm Weber's bifilar aufgehängte Drahtrolle, von welcher bereits im Art. Elektromagnetismus Bd. II. S. 809 und im Art. Magnetometer das Erforderliche mitgetheilt ist.

Osann's Jodgalvanometer *), bei welchem die Platinelektroden sehr schwacher volta'scher Ketten in ungleichen meßbaren Abständen mit einer kleinen Quantität Stärkekleister in Berührung gebracht werden, auf welchen mittelst einer Glasröhre ein Tropfen Jodkalium getröpfelt ist. Aus der Stärke der Färbung und dem Abstande der Platindrähte wird dann auf das Vorhandensein und die Stärke des galvanischen Stromes geschlossen.

Pouillet's Tangentenbussole **) beruht darauf, daß, wenn ein elektrischer Strom in der Ebene des magnetischen Meridians über oder unter einer Magnetnadel hinweggeht, seine elektromagnetische Kraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional ist. Ist nämlich (s. nebenstehende Figur) C B die Richtung des magnetischen Meridians, so erhält die Magnetnadel durch den Erdmagnetismus M allein die Richtung C B; eben so durch die Wirkung des elektrischen Stromes E allein die darauf senkrechte Richtung D F. Durch beide Kräfte kommt die Nadel in die Richtung S A N; ist nun A G = M und A K = E, so zerlege man A G in eine Kraft parallel A N und eine andere senkrecht auf A N, also in A H und G H, eben so A K in A L und K L. Hier bringen A L und A H keine Ablenkung hervor, wohl aber K L und G H. Steht die Nadel in Ruhe, so muß K L = G H sein, d. h. $M . \sin x = E . \sin y$, wenn $< HAG = x$ und $< KAL = y$ gesetzt wird; da nun $\sin y = \cos x$ ist, so erhält man:



$$E = M \frac{\sin x}{\cos x} = M . \operatorname{tgs} x$$

und folglich für einen zweiten Strom, dessen Stärke E' sei,

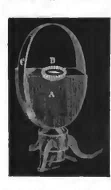
---

*) Die Anwendung des hydroelektrischen Stromes als Aetzmittel. Würzburg 1842. S. 5.

**) Élémens de Phys. exper. et de Météorol. 3me éd. Paris 1837. T. I. p. 612.

$$E' = M . \text{tgs } x', \text{ also:}$$
$$E : E' = \text{tgs } x : \text{tgs } x'.$$

Es besteht nun die Tangentenbussole aus einem starken kupfernen, etwa 2 Millimeter dicken, 1 bis 2 Centimeter breiten und 20 bis 30 Centimeter im Durchmesser haltenden Ringe C C (s. beistehende Figur), dessen Enden nicht zusammengelöthet, sondern geradlinig abgebogen sind. Diese beiden Enden werden durch zwischengelegte Seide oder durch ein gefirnißtes Brettchen, welches mit dem Kupferstreifen gleiche Breite hat, isolirt, dann durch einen Holzcylinder gesteckt und durch eingelegte Holzstückchen in diesem so befestigt, daß sich das Ganze noch in dem Cylinder drehen läßt. Der Holzcylinder hat drei Füße mit Stellschrauben und zwischen diesen ragen die hervortretenden und da umgebogenen Enden des Kupferstreifens heraus, so daß man an denselben die Schließungsdrähte des zu untersuchenden Stromes befestigen kann. Die untere Hälfte des Ringes wird durch ein Holzstück A ausgefüllt, dessen obere Seite im horizontalen Durchmesser des Ringes liegt und da zur Aufnahme einer Bussole D mit einer nur 1 Zoll langen Magnetnadel vertieft ausgeschnitten ist. Der Boden der Bussole ist zur Vermeidung der Parallaxe beim Ablesen ein Glasspiegel; der Durchmesser des Nullpunktes liegt in der Ringebene. Beim Gebrauch wird der Ring so gedreht, daß die Nadel auf Null zeigt und, um dies besser beobachten zu können, bringt man zweckmäßig senkrecht auf derselben in ihrem Drehpunkte einen horizontalen Drahtstift an, der bei richtiger Stellung dann auf 90 und 270 stehen muß, wenn sein Bild und er selbst in einer verticalen Ebene liegen. Beim Ablesen der Ablenkung ist eben so zu verfahren, daß die Nadel genau ihr Bild deckt.



Ueber diese Tangentenbussole hat Despretz Untersuchungen angestellt und nachgewiesen, daß die Ablenkung nicht in der oben angegebenen Weise im Verhältnisse steht. Dies würde nur dann sein, wenn die Nadel unendlich klein oder der Ring unendlich groß wäre. Auch bei einem Metallringe von 50 Centimetern im Durchmesser und einer Nadel von nur 4 Centimetern Länge ist die Stromstärke der Tangente des Ablenkungswinkels nicht genau proportional. Despretz hat deshalb eine Formel gegeben, in welcher das Verhältniß der Größe der Nadel und des Ringes Berücksichtigung gefunden hat. Bei einer Bussole mit einem Ringe von 1 Meter Durchmesser und einer Nadel von 3 Centimetern Länge erhielt er auf 20—80 Grad nicht mehr als 2 Minuten Unterschied. Da die großen Bussolen unbequem sind, so schlägt er vor den Ring aus 4 durch ein seidenes Band isolirten Metalldrähten zu bilden, wodurch man die Empfindlichkeit der kleinen Bussolen erhalten würde. Gaugain und Bravais haben dadurch die Proportionalität zu erzielen gesucht, daß sie die Nadel aus der Ebene des vom Strome durchlaufenen Kreises heraussetzten, doch so, daß die Mitte der Nadel immer in der auf der Mitte des Kreises errichteten Perpendikulären bleibt. Wenn dann die Nadelmitte von der Mitte des Kreises in einer Entfernung gleich $^1/_4$ des Durchmessers des Kreises ist, so soll jene für den Versuch genaue Proportionalität für alle Grade der Ablenkung eintreten, während bei kleinerem oder größerem Abstande eine mit der Abweichung

von der genannten Lage zunehmende Abweichung von dieser Proportionalität statt habe, und zwar für beide Fälle mit entgegengesetzten Vorzeichen. Gaugain hatte dies Resultat durch Versuche gefunden, Bravais unterwarf dies dann der Rechnung. Nach dieser Rechnung ist indessen die Proportionalität der Stromstärke mit der Tangente des Ablenkungswinkels auch nur in so weit genau, als die Nadellänge nicht zu groß im Verhältnisse zum Durchmesser des galvanischen Kreises ist, oder als man die Größe $\frac{126}{125}\frac{l^4}{R^4}$ gegen die Einheit vernachlässigen kann, wo l die halbe Nadellänge (von der Mitte bis zum Pole gerechnet), R den Halbmesser des Kreises bezeichnet. Gaugain's Ergebniß ist also theoretisch nicht hinreichend begründet. Gaugain kam durch seine Untersuchungen übrigens noch zu einer Abänderung der Tangentenbussole, die er auch ausführen ließ. Er wickelte nämlich einen Multiplicator in solcher Kegelform auf, daß, während die Kegelspitze nach der Mitte der Nadel zu lag, für jede Windung das oben angegebene Abstandsverhältniß stattfand *). V. Pierre hat die Rechnung, welche Bravais auf den höheren Calcul basirt hatte, elementar geführt und dasselbe durch eine Annäherungsrechnung bewiesen **).

Pouillet's Sinusbussole ***) gründet sich darauf, daß die elektromagnetische Kraft des Stromes dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional ist, wenn man dem elektrischen Strome zuerst die Richtung des magnetischen Meridians giebt und ihn dann so lange in der Richtung dreht, in welcher die Magnetnadel, über oder unter welcher der Strom hinweg geht, abgelenkt wird, bis Strom und Nadel ein und dieselbe Richtung haben. Es wird nämlich dann, wenn wir von der bei der Tangentenbussole zu Grunde gelegten Figur ausgehen, der dort mit y bezeichnete Winkel = 90°, also $E : M = \sin x : 1$ und mithin $E = M \cdot \sin x$, so daß für zwei verschiedene Ströme die Proportion gilt:

$$E : E' = \sin x : \sin x'.$$



Die Sinusbussole selbst besteht aus einem mehrmals um einen hölzernen Kreis von 12 bis 20 Millimeter Durchmesser gewundenen übersponnenen Kupferdrahte, in dessen Mittelpunkte eine Magnetnadel aufgestellt ist, welche sich in einem mit dem hölzernen Ringe fest verbundenen Gehäuse befindet, wie nebenstehende Figur zeigt. Dies System ist an einer mit einem horizontalen getheilten Kreise concentrischen Axe befestigt, auf welchem die Ablesung geschieht. Zu Anfange des Versuchs steht der Zeiger auf Null, wenn die Drahtwindungen im magnetischen Meridiane stehen. Wird der Strom geschlossen, so folgt man der abgelenkten Nadel, bis Nadel und Draht wieder in einer Ebene liegen, und liest die Ablenkung ab.

*) L'Instit. 1853. Janv. p. 34. Compt. rend. T. XXXVI. p. 191—193 u. 193—197.
**) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 165 Wiener Akad. Bericht. Bd. XIII. S. 527.
***) Élémens etc. 3me éd. T. I. p. 604. 611.

Die Sinusbussole ist auch für kleinere Ströme empfindlich, was bei der Tangentenbussole nicht der Fall ist. Die Empfindlichkeit wächst mit der Anzahl der Drahtwindungen. Poggendorff*) hat die Nadel an einem Coconfaden aufgehängt und, um das Schwanken zu vermeiden, auf der unteren Seite einen zweiten Faden herabhängen lassen, der ein kugelförmiges Gewicht trägt und in eine verticale Glasröhre hineinreicht. Der Apparat Poggendorff's gab so befriedigende Resultate, daß derselbe der Sinusbussole den Vorzug vor allen anderen Apparaten einräumte.

Da die Sinusse nicht wie die Tangenten ins Unendliche wachsen, so kann bei Strömen gewisser Stärke das Instrument unbrauchbar werden. Man hilft diesem Uebelstande dadurch ab, daß man statt eines einfachen Drahtes die Windungen aus zwei zusammengedrehten Drähten bestehen läßt, deren beider Wirkungen auf die Magnetnadel daher gleich sind. Den einen dieser Drähte verlängert man nun durch Einschaltung eines Drahtes und vermehrt dadurch dessen Leitungswiderstand, wodurch man im Stande ist, die Summen beider Ströme und ihre Unterschiede zu messen. Da der Unterschied beliebig gewählt werden kann, so hat man es in seiner Gewalt, Ströme der verschiedensten Intensitäten zu messen. Auch dadurch würde man den Zweck erreichen, daß man die Drahtwindungen der Axe der Magnetnadel nicht parallel richtete, sondern beide einen constanten Winkel mit einander machen ließe, welcher selbst bis 90 Grad betragen könnte. Vortheilhaft ist es, Drahtgewinde von verschiedener Länge und Dicke für den jedesmaligen Zweck einsetzen zu können; doch reichen meistens 4 Windungen eines Drahtes von $^2/_3$ Millimeter Durchmesser aus.

Diese Instrumente geben nur die relative Stromstärke; die absolute Stromstärke zu messen versuchte schon Nobili, indem er dieselbe auf den Erdmagnetismus zurückführen wollte und zwar dadurch, daß er einander möglichst gleiche Nadeln — eine gewisse Nummer Aachner Nähnadeln — der vereinten Wirkung des Stromes und des Erdmagnetismus unter möglichst gleichen Umständen aussetzte**). Dieser Vorschlag hat nur historisches Interesse, denn das Ziel ist seitdem auf anderen Wegen weit sicherer erreicht worden. Faraday's Entdeckung der bestimmten oder festen elektrolytischen Action führte zu dem Voltameter. Das hierauf Bezügliche findet sich im Art. Galvanismus Bd. III. S. 339 bis 347; es sei daher hier nur noch nach Du Bois-Reymond (a. a. O. Bd. I. S. 199) Folgendes erwähnt. „Man hält, mittelst eines Stromes von beständiger Kraft, die Nadel unbeweglich auf einer bestimmten Stelle der Theilung, z. B. 10° fest. In den Kreis der Kette findet sich zugleich die Lösung eines Metallsalzes zwischen Elektroden aus demselben Metalle eingeschaltet. Der Strom zersetzt die Lösung, deren Metall sich galvanoplastisch auf der negativen Elektrode niederschlägt, während sich das gleiche Gewicht davon von der positiven auflöst. Hat man nun den Unterschied des Gewichts der Elektroden vor dem Versuche bestimmt, und bestimmt ihn abermals nach einer gewissen Dauer desselben, so ist die halbe Veränderung dieses Unterschiedes, auf eine gewisse beliebige Zeiteinheit zurückgeführt, das absolute Maß eines Stromes, der die Nadel des Multiplicators in dieser beständigen Ablenkung zu halten vermag. Es

*) Pogg. Ann. Bd. L. S. 504.

**) Ann. de Chim. et de Phys. T. XLIII. p. 146.

kommt bei Bestimmungen der Art vornehmlich auf zwei Punkte an: auf die Wahl des Salzes, dessen Metall sich gut galvanoplastisch niederschlägt und ein möglichst großes Atomgewicht hat; zweitens darauf, daß man den Versuch so lange als möglich währen lasse, um auch auf diese Weise die Menge des niedergeschlagenen Metalls nach Kräften zu vergrößern."

Nach demselben ist es am besten: „Man schaltet einfach die Zersetzungszelle, statt in den Multiplicatorzweig der Nebenschließung, in den anderen von geringerem Widerstande ein, und bestimmt das Verhältniß der Widerstände des ersteren und des letzteren die Zelle enthaltenden Zweiges. So kann man in beliebig kurzer Zeit ein beliebig großes Gewicht niedergeschlagenen Stromäquivalents erhalten, welches man nur mit dem umgekehrten Verhältniß der Widerstände der beiden Zweige zu multiplieiren braucht, um das gesuchte Empfindlichkeitsäquivalent des Multiplicators zu erhalten.

Wegen Benutzung der Intensität des Erdmagnetismus zur absoluten Bestimmung der Stromstärke verweisen wir auf das oben bei Erwähnung der Weber'schen bifilar aufgehängten Drahtrolle Citirte und namentlich auf Art. Magnetometer. Wie man den nach absoluten Maße bestimmten Magnetismus eines Stahlmagnets dazu benutzen könne, die Stärke eines galvanischen Stromes in absolutem Maße zu ermitteln, ist unter Anderem aus der Abhandlung von v. Feilitzsch *) zu ersehen, in welcher derselbe eine Methode, galvanische Ströme nach absolutem Maße zu messen, vorschlägt, die er selbst mehrmals ausgeführt hat. Die Methode selbst hier zu beschreiben, darauf glauben wir um so mehr verzichten zu müssen, da sie ziemlich unbequem in der Beobachtung und weitläufig in der Rechnung ist, überdies nur Stromstärken innerhalb enger Grenzen zu messen gestattet.

Wegen Bestimmung der Stromstärke mittelst der elektromotorischen Kraft ist zu vergleichen Art. Strom, elektrischer, worauf schon in Art. Galvanismus Bd. III. S. 316 dieserhalb verwiesen ist. H. E.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 21.

Druckfehler und Berichtigungen zum vierten Bande.

Seite 44 Zeile 23 von oben lies der Erde statt dem Ende.
„ 62 „ 24 „ „ „ Stellen st. Wellen.
„ 64 „ 15 „ unten „ Beugungsfigur st. Beleuchtungsfigur.
„ 67 „ 18 „ oben „ hiernach st. hier noch.
„ 74 „ 13 „ unten „ $\frac{A \sin \gamma}{A \cos \gamma}$ = statt $\frac{A \sin \gamma}{A \cos \gamma}$ —.
„ 86 In Figur IV. muß p' statt D' stehen und unterhalb f fehlt p.
„ 91 Zeile 16 von unten lies β, statt β und mithin.
„ 94 „ 22 „ „ „ sucht st. sieht.
„ 115 In der Figur darf die Biegung nur zwischen a und b' sein und der dazwischen liegende Theil von a b' muß fehlen.
„ 116 Zeile 4 von unten lies Insolation statt Isolation.
„ 143 „ 8 „ oben „ oder st. aber.
„ 187 In der Figur muß f auf der verlängerten CB stehen.
„ 269 Zeile 3 von unten lies Athapescow statt Athapescom.
„ 359 „ 18 „ oben „ Eckpunkten st. Endpunkten.
„ 464 „ 14 „ „ „ die st. das.
„ 467 Die Figur muß bei A C und B D geschlossen sein.
„ 517 Zeile 20 von oben lies 0,4 st. $^1/_4$.
„ 544 „ 11 „ „ „ verre st. vepre.
„ 553 „ 3 „ „ „ $f = -\frac{R r}{(n-1) r - R}$ st. $f = \frac{R r}{(n-1)(r-R)}$.
„ 560 „ 9 „ unten „ g st. G.
„ 568 In der Anmerkung muß unter 1, sin M A C statt sin C A D und sin C A D statt sin M A D stehen.
„ 578 Zeile 6 von oben fehlt die Unterzeichnung H. E. des Art. Linsenglas.
„ 712 „ 5 „ „ lies Ruder st. Räder.
„ 796 „ 11 „ unten „ magnetischen Körpers st. magnetischen.
„ 932 „ 14 „ oben „ analytisch st. anylitisch.

Druck von Otto Wigand in Leipzig.

